

VŠB – Technická univerzita OSTRAVA

FAKULTA STROJNÍ

KATEDRA OBRÁBĚNÍ A MONTÁŽE



**ROVINNÉ FRÉZOVÁNÍ
KOROZIVZDORNÝCH OCELÍ**

Surface milling of stainless steel

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.

Ing. Martin Binder

Vypracovala:

Bc. Monika Straková

Datum odevzdání:

23.5.2011

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 23.5.2011

.....


podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě23.5.2011.....

.....

podpis studenta

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

STRAKOVÁ, M. *Rovinné frézování korozivzdorných ocelí*. Ostrava: Katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2011, 72 s. Diplomová práce, vedoucí: Čep, R. a Binder, M.

Diplomová práce se zabývá problematikou rovinného frézování korozivzdorných ocelí. Na úvod je popsána obecná charakteristika korozivzdorných ocelí, spolu s konstrukcí a geometrií nástrojů pro jejich obrábění. Následuje přehled používaných nástrojů na tuzemském trhu. Hlavní část je zaměřena na experimentální zkoušky vybraných konkurenčních nástrojů. Volba doporučených řezných podmínek je následně ověřena při funkčních a trvanlivostních zkoušek obrábění. Vyhodnocením experimentálních prací se věnuje poslední část diplomové práce. Závěr patří popisu návrhu řešení konstrukce frézovacího nástroje pro nový sortiment firmy Pramet Tools, s.r.o.

Klíčová slova: korozivzdorná ocel, nerez, rovinné frézování, fréza, Pramet

ANNOTATION TO DIPLOMA THESIS

STRAKOVÁ, M. *Surface milling of stainless steel*. Ostrava: Department of Machining and Assembly, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2011, 72 p. Diploma thesis, heads: Čep, R. and Binder, M.

The diploma thesis deal with questions of surface milling of stainless steel. The introduction describes common characteristics of the stainless steels together with design and geometry of tools for theirs machining. Next chapter deal with machining tools on domestic market. The main part focuses on the experimental tests with chosen of competitors milling cutters. Choice of recommended cutting conditions are verified by the functional and tool lifes cutting tests. Evaluation of eperimental labours describes last part of diploma thesis. At the end, the thesis belong to describe on proposal of solution new design of milling cutters for new assortment Pramet Tools copmany.

Keywords: stainless steel, rustless, surface milling, cutter, Pramet

Poděkování

Velmi ráda bych poděkovala a vyslovila uznání všem, kteří mi pomáhali při vzniku této práce. Především doc. Ing. Robertu Čepovi, Ph.D., vedoucímu mé diplomové práce. Dále společnosti Pramet Tools, s.r.o., která mi umožnila vypracovat diplomovou práci a spolupracovat při její tvorbě s panem Ing. Martinem Binderem, který mi vždy ochotně pomohl cennými informacemi, znalostmi i prostředky.

Nakonec bych chtěla poděkovat rodičům za poskytnuté zázemí, jejich trpělivost a lásku.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	8
Úvod	10
1 Obecná charakteristika korozivzdorných ocelí	11
1.1 Popis korozivzdorné oceli	11
1.2 Rozdělení korozivzdorných ocelí	11
1.3 Charakteristické vlastnosti skupin ocelí	12
1.3.1 Feritické oceli	12
1.3.2 Martenzitické oceli	13
1.3.3 Austenitické oceli	14
1.3.4 Austeniticko-feritické oceli (duplexní oceli)	16
1.4 Obrobitelnost korozivzdorných ocelí	17
1.5 Rozdělení obráběných materiálů	18
2 Konstrukce a geometrie nástrojů	20
2.1 Úhly na frézovacím nástroji	20
2.2 Základní tvary a charakteristika VBD	22
3 Frézovací nástroje pro obrábění korozivzdorné oceli	25
3.1 Přehled používaných nástrojů na trhu, světové trendy	25
4 Experimentální zkoušky obrábění korozivzdorných ocelí	26
4.1 Popis a charakteristika nástrojů	26
4.1.1 MITSUBISHI	27
4.1.2 SECO	29
4.1.3 SANDVIK	30
4.1.4 PRAMET	32
4.2 Volba řezných podmínek	33
4.3 Návrh experimentu	34
4.3.1 Rozměrové vlastnosti fréz a VBD	34
4.3.2 Funkční zkoušky obrábění	35
4.3.2.1 Utváření třísky v místě řezu	38
4.3.2.2 Trajektorie odchodu třísky z místa řezu	39
4.3.2.3 Charakteristika třísky	39
4.3.2.4 Chod nástroje v řezu	41
4.3.2.5 Rozsah posuvů na zub f_z	41

4.3.2.6	Axiální hloubka řezu $a_{p \max}$	42
4.3.3	Zkoušky trvanlivosti obrábění.....	42
5	Vyhodnocení zkoušek obrábění.....	45
5.1	Funkční zkoušky obrábění	45
5.1.1	Utváření třísky v místě řezu	45
5.1.2	Charakteristika třísky	48
5.1.3	Chod nástroje v řezu	49
5.1.4	Rozsah posuvů na zub f_z	51
5.1.5	Axiální hloubka řezu $a_{p \max}$	51
5.2	Zkoušky trvanlivosti obrábění	52
5.3	Návrh řešení konstrukce nástroje	63
5.3.1	Konstrukce frézy	63
5.3.2	Konstrukce destičky	64
6	Závěr	66
7	Použitá literatura	68
8	Seznam obrázků	70
9	Seznam tabulek.....	71
10	Seznam grafů	71
11	Seznam příloh	72

Seznam použitých zkratk a symbolů

Δ	rozptyl hodnot trvanlivosti	[%]
κ_r	úhel nastavení ostří	[°]
A_5	tažnost	[%]
a_e	radiální hloubka řezu	[mm]
$a_{p \max}$	maximální axiální hloubka řezu	[mm]
a_p	axiální hloubka řezu	[mm]
D	průměr frézy	[mm]
dr	distance – odchylka	[μm]
f_{\min}	minutový posuv	[mm . min ⁻¹]
$f_{z \max}$	maximální posuv na zub	[mm . zub ⁻¹]
$f_{z \min}$	minimální posuv na zub	[mm . zub ⁻¹]
f_z	posuv na zub	[mm . zub ⁻¹]
H	výška nástroje	[mm]
HB	tvrdost podle Brinela	[-]
HRC	tvrdost podle Rockwella	[-]
HV	tvrdost podle Vickerse	[-]
ISO	mezinárodní norma	[-]
K	řezivost	[%]
KV	nárazová práce	[J]
n	otáčky	[1 . min ⁻¹]
$\bar{\sigma}T$	průměrná hodnota trvanlivosti	[min]
R	zaoblení řezné hrany	[μm]
R_a	drsnot povrchu	[μm]
R_e	mez kluzu	[MPa]
R_m	mez pevnosti v tahu	[MPa]
RNA	obvodová házivost nástroje	[mm]
RNR	čelní házivost nástroje	[mm]
SK	slinutý karbid	[-]
t	šířka fazetky	[mm]
T	trvanlivost	[min]

VB_B	opotrebení hlavního břitu	[mm]
VB_{C1}	opotrebení hlavního břitu na špičce	[mm]
VBD	vyměnitelná břitová destička	[-]
v_c	řezná rychlost	[m . min ⁻¹]
z	počet zubů	[-]
γ_f	radiální úhel čela (nástrojový boční úhel čela)	[°]
γ_o	ortogonální úhel čela	[°]
γ_p	axiální úhel čela (nástrojový zadní úhel čela)	[°]
λ_s	úhel sklonu ostří	[°]

Úvod

Strojírenství, zvláště pak automobilový průmysl patří mezi hlavní odvětví ekonomiky naší země. Současné tempo výroby, vysoká produktivita a minimalizace nákladů při obrábění nejen korozivzdorných ocelí, si žádá velké nároky na obráběcí nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutých karbidů. Efektivnost technologie třískového obrábění spočívá ve značných úsporách materiálu, ve vysoké jakosti výrobků a ve vysoké produktivitě práce. K těmto přednostem je možno ještě připojit nízké výrobní náklady, ale pouze za předpokladu, že je docílena vysoká životnost nástrojů na obrábění a že je rovněž i nízká zmetkovitost výrobků.

Inovace nástroje často zvedá produktivitu obrábění a při dodržování určitých požadavků jsou společně s výkonnými stroji schopny dosahovat vysoké přesnosti a kvality povrchu při neustáleném snižování času obrábění a celkové ceny výrobku. Nejrozšířenějšími nástroji pro třískové obrábění stále patří bezesporu soustružnické nože a frézovací nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutého karbidu opatřenými povlaky na bázi CVD a PVD. Jak u soustružnických operací, tak u frézovacích operací sledujeme rozhodující kvalitativní vlastnosti těchto nástrojů, kterými jsou trvanlivost, životnost a řezivost nástroje jako celku.

Tato diplomová práce řeší problematiku sortimentu nástrojů pro oblast obrábění skupiny materiálů M podle ISO 513, cíleně pak oblast obrábění korozivzdorných ocelí. V současném sortimentu frézovacích nástrojů společnosti Pramet Tools, s.r.o. Šumperk, se nacházejí nástroje, které jsou již svou konstrukcí a využitím na nižší úrovni z hlediska produktivity práce než konkurenční nástroje nových generací. Inovace stávajícího sortimentu je proto nezbytná.

Cílem diplomové práce je provést analýzu současného sortimentu frézovacích nástrojů Pramet a konkurence na domácím trhu. Dále provést vytipování a výběr maximálně tří konkurenčních řešení, tato řešení otestovat a odzkoušet na zkušebně obrábění. Následně, provést vyhodnocení experimentálních zkoušek obrábění, zanalyzovat dosažené výsledky a navrhnout základní konstrukční řešení pro nový sortiment frézovacích nástrojů pro oblast obrábění korozivzdorných ocelí pro společnost Pramet Tools, s.r.o. Šumperk.

1 Obecná charakteristika korozivzdorných ocelí

1.1 Popis korozivzdorné oceli

Ušlechtilá korozivzdorná ocel je souhrnný výraz pro nerezavějící oceli. Tyto oceli obsahují minimálně 10,5 % chrómu (Cr) a v porovnání s nelegovanými oceli vykazují výrazně lepší odolnost proti korozi. Vyšší obsahy chrómu (Cr) a další podíly legujících prvků, jako např. nikl (Ni) a molybden (Mo) korozní odolnost dále zvyšují. Kromě toho je možné dolegovat ještě některými jinými prvky, které pozitivně ovlivňují další vlastnosti, např.:

- niob, titan (odolnost proti mezikrystalové korozi),
- dusík (pevnost, korozní odolnost),
- síra (obrobitelnost).

Tím mají konstruktéři, zpracovatelé a uživatelé k dispozici značné množství druhů ocelí pro nejrozmanitější oblasti použití. Od vynalezení nerezavějících ocelí v roce 1912 začali jejich výrobci a zpracovatelé pro ně užívat různá obchodní jména. Slovo ušlechtilá ocel bez dodatku „korozivzdorná“ pro jejich označování nestačí, protože k ušlechtilým ocelím patří i skupiny ušlechtilých konstrukčních ocelí, ložiskových, rychlořezných a nástrojových ocelí s úplně jinými užitnými vlastnostmi.

Když vyjdeme z oblasti konzumního zboží, pak se prosadil pojem ušlechtilá nerezavějící ocel. Ušlechtilé nerezavějící oceli ve své dlouholeté historii na základě jim vlastní odolnosti proti korozi a dobrých mechanických vlastností nabývaly stále většího významu ve zpracovatelských oblastech. To se odráželo v neustálém značném zvyšování objemů jejich výroby. I v příštích letech se očekává neustálý růst řádově od 5 do 7 % ročně. Korozivzdorné oceli se vyrábějí jako válcované a kované oceli a jako odlitky. [1]

1.2 Rozdělení korozivzdorných ocelí

Korozivzdorné oceli jsou podle jejich chemického složení v tabulce 1.1 rozděleny do tří skupin, které se vztahují ke struktuře. Kromě toho nabývaly na významu precipitačně vytvrditelné korozivzdorné oceli. U těchto ocelí se přidáváním Mo, příp. Cu, Nb, Al a V a speciálním tepelným zpracováním výrazně zvyšuje pevnost a mez kluzu. [1]

tab. 1.1 Skupina korozivzdorných ocelí [1]

Struktura	Hlavní legující složky
feritická	Cr
martenzitická	Cr, C nebo Ni
austenitická	Cr, Ni, Mo
austeniticko – feritická	Cr, Ni, Mo (vyšší obsahy chromu a nižší obsahy Ni než u austenitických ocelí)

Jednotlivé druhy ocelí jsou označovány zkratkami a materiálovými čísly. Vzhledem k jejich krátkosti se právě u korozivzdorných ocelí dává přednost materiálovým číslům. Význam materiálových čísel pro korozivzdorné oceli je zřejmý z tabulky 1.2. [1]

tab. 1.2 Význam materiálových čísel pro korozivzdorné oceli [1]

1.40...: 1.41...:	}	Cr – oceli s < 2,5% Ni	bez Mo, Nb nebo Ti s Mo, bez Nb nebo Ti
1.43...: 1.44...:	}	Cr – oceli s ≥ 2,5% Ni	bez Mo, Nb nebo Ti s Mo, bez Nb nebo Ti
1.45...: 1.46...:	}	Oceli Cr, CrNi – nebo CrNiMo se zvláštními přísadami (Cu, Nb, Ti, ...)	

1.3 Charakteristické vlastnosti skupin ocelí

1.3.1 Feritické oceli

V hrubém rozdělení se feritické korozivzdorné oceli člení do dvou podskupin:

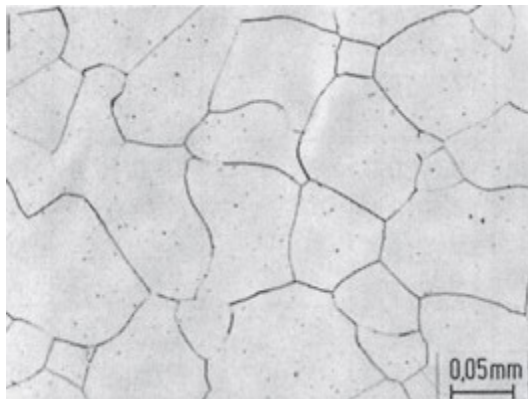
- s obsahem asi 11 až 13 % Cr,
- s obsahem asi 17 % Cr.

Mechanické vlastnosti feritických ocelí předpokládají jemnozrnnou strukturu, které se dosahuje příslušným tepelným zpracováním těchto ocelí. V důsledku relativně nízkého obsahu chromu je korozní odolnost 11-12 % chromových ocelí (1.4003, 1.4512) omezena např. jen na atmosférické podmínky, nebo na vodnatá média, takže tyto oceli jsou zařazovány také jako „korozně málo aktivní“. [1]

U 17 % chromových ocelí se díky vyššímu obsahu chromu dosahuje vyšší odolnosti proti korozi. Dolegováním asi 1 % molybdenu se může odolnost proti korozi ještě zvýšit. [1]

Některé oceli obsahují titan nebo niob jako karbidotvorné prvky, které na sebe váží uhlík. Takové oceli jsou stálé i po svařování bez doplňkového tepelného

zpracování, a to i v případě větších tloušťek, jsou tedy stabilní proti mezikrystalové korozi. Zvláštní předností feritických korozivzdorných ocelí je to, že v protikladu k austenitickým CrNi ocelím vynikají vysokou odolností proti transkrystalové korozi při mechanickém napětí. [1]



obr. 1.1 Materiál 1.4511 s feritickou strukturou [1]



obr. 1.2 Výfukové zařízení (použití feritické korozivzdorné oceli ve výrobě) [1]

1.3.2 Martenzitické oceli

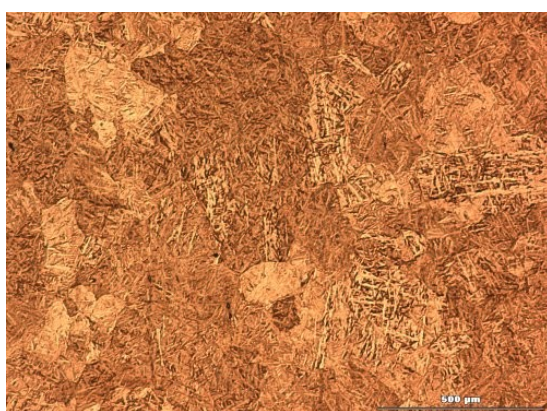
V případě ocelí s 12-18 % Cr a s obsahy C od 0,1 % se jedná o oceli, které jsou při vysokých teplotách plně austenitické. Když se z austenitické oblasti rychle ochladí, tzn. zakalí se a získají martenzitickou strukturu. Austenitizační teploty leží v závislosti na druhu oceli mezi 950 a 1050 °C; vytvrzování může probíhat mnohem pomaleji, než u srovnatelných nelegovaných ocelí (např. ochlazováním vzduchem). [1]

Tvrdost ocelí je o to větší, čím vyšší je obsah C (tab. 1.3). V zušlechťeném stavu se dosahuje vysokých hodnot pevnosti. U niklových martenzitických ocelí se role uhlíku ujímá nikl (např. 1.4313). Schopnost zakalení při tom zůstává zachována, aniž by se projevovaly nepříznivé účinky zvýšeného obsahu uhlíku (vyučování karbidů, vysoký nárůst tvrdosti). Oblast rozměrů, které jsou schopné zušlechťování, se rozšiřuje nad průměry přesahující 400 mm. [1]

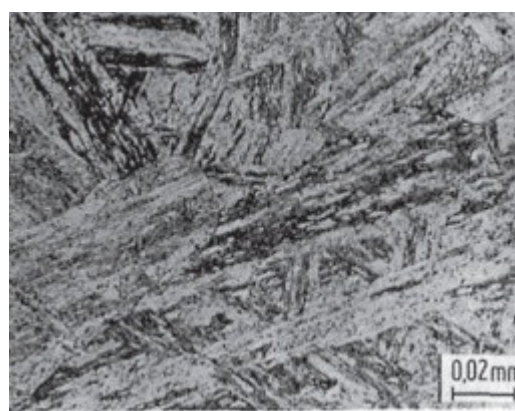
Odolnost proti korozi se ještě zvyšuje přidávkem molybdenu (1.4418). V závislosti na tvaru výrobku se martenzitické oceli dodávají v žíhaném nebo zušlechťeném stavu. Výrobky, dodávané ve stavu žíhaném na měkko (jako za studena a za tepla válcovaný pás a jeho dělením vyráběné plechy), mohou být zpracovávány tvarováním za tepla nebo za studena (např. ohýbáním, ražením, lisováním, tažením) dříve, než se provede zušlechťování. [1]

tab. 1.3 Vliv obsahu uhlíku na tvrdost martenzitických ocelí, kalených a popouštěných [1]

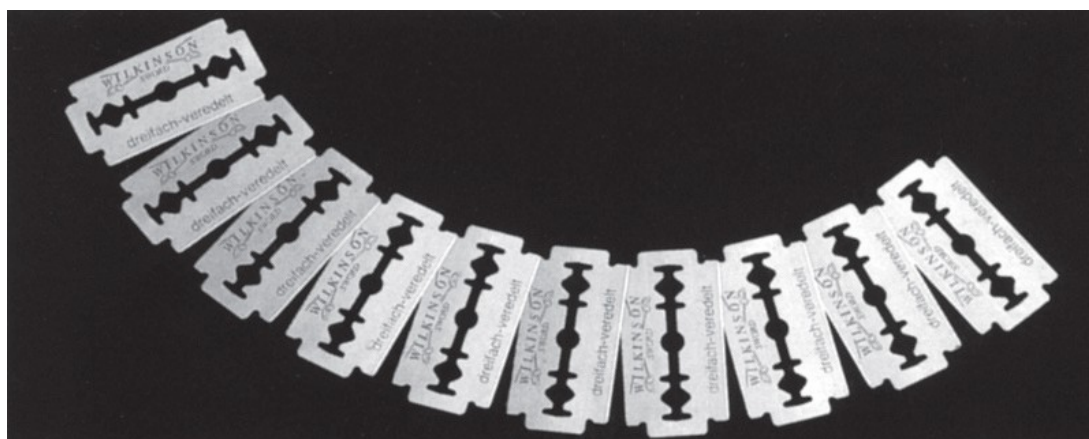
Obsah C v hmotnostních (%)	Tvrdost (HRC)
0,10	40
0,15	46
0,20	50
0,25	53
0,40	56
0,70	58
1,00	60



obr. 1.3 Mikrostruktura martenzitické oceli [2]



obr. 1.4 Materiál 1.4313 s martenzitickou strukturou [1]



obr. 1.5 Holící žiletky z martenzitické korozivzdorné oceli [1]

1.3.3 Austenitické oceli

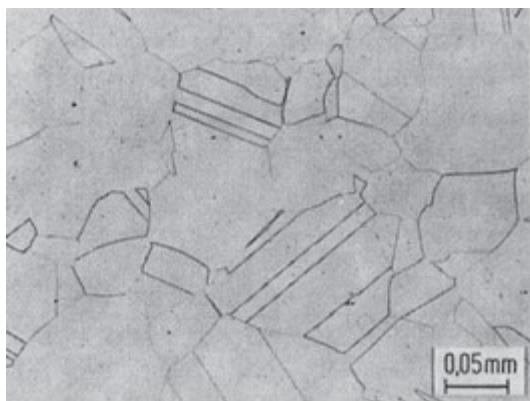
Austenitické CrNi oceli s 8 % Ni skýtají obzvlášť příznivou kombinaci zpracovatelnosti, mechanických vlastností a odolnosti proti korozi. Jsou proto vhodné pro mnoho účelů použití a jsou nejvýznamnější skupinou korozivzdorných ocelí.

Nejdůležitější vlastností této skupiny ocelí je vysoká korozní odolnost, která se s narůstajícím obsahem legur zvyšuje. Jejím zvyšování napomáhají zejména chróm a molybden. Jak u feritických, tak i u austenitických ocelí je pro dosažení dobrých technologických vlastností nezbytná jemnozrnná struktura. Jako konečné tepelné zpracování se provádí rozpouštěcí žíhání při teplotách mezi 1000 a 1150°C s následným ochlazením ve vodě nebo na vzduchu. Austenitické oceli nejsou na rozdíl od martenzitických ocelí kalitelné. Pro určité oblasti použití se požadují austenitické oceli s vyšší pevností. [1]

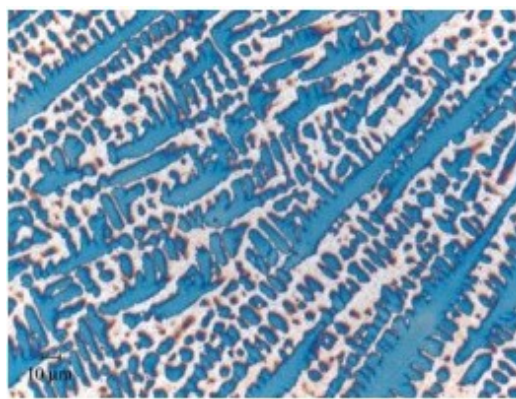
Největší účinek vykazují prvky uhlík (C) a dusík (N). Avšak přidávání uhlíku se z korozně-chemických důvodů zříkáme. Dolegovávání dusíkem má v porovnání s uhlíkem tu výhodu, že zároveň se zlepšováním pevnosti se zlepšuje i korozní odolnost. Dusík obsahující austenitické oceli s vyššími hodnotami pevnosti jsou na příklad oceli 1.4311, 1.4318, 1.4406 nebo 1.4439. [1]

Austenit je nejvíce používán jako spojovací materiál a je dále rozdělena na tři skupiny s různou korozivzdorností a účely použití:

- A1** – dobře obrobitelná v důsledku vysokého obsahu fosforu a síry. Je tedy vhodná pro obrábění, soustružení, ovšem, má sníženou korozivzdornost díky vyššímu obsahu síry [3],
- A2** – nejrozšířenější nerezavějící ocel s korozivzdorností proti normálním povětrnostním podmínkám, vlhkému prostředí, organickým kyselinám a alkalickým a solným roztokům. Nedoporučuje se k použití v prostředí agresivnějším jako je např. plavecký bazén nebo mořská voda [3],
- A4** – díky přísadám molybdenu má zvýšenou odolnost proti korozi a kyselinám. Má lepší korozivzdornost vůči agresivnímu prostředí jako je mořské prostředí (chloridy), průmyslovému prostředí (oxidy síry), používá se tedy zejména v chemických laboratořích, v plaveckých bazénech, v lodářském průmyslu. [3]



obr. 1.6 Materiál 1.4301 s austenitickou strukturou [1]



obr. 1.7 Mikrostruktura austenitické oceli [4]



obr. 1.8 Spojovací materiál z austenitické oceli [5]

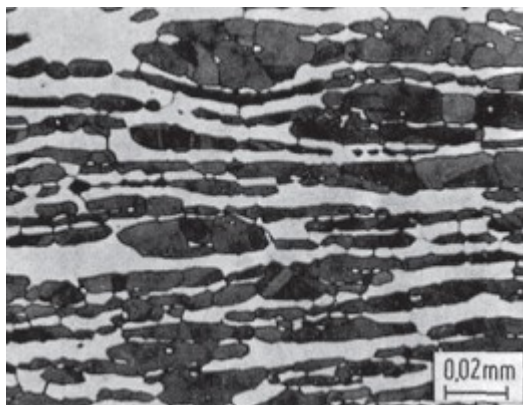
1.3.4 Austeniticko-feritické oceli (duplexní oceli)

Dominantní pozice austenitických korozivzdorných ocelí je v poslední době ovlivňována větším použitím dvoufázových austeniticko-feritických ocelí, zejména tam, kde austenitické oceli nezaručují bezporuchový a bezpečný provoz - zvláště v prostředích, kde může docházet ke vzniku korozního praskání za napětí. Podíl ferit/austenit je dán především obsahem feritotvorných prvků a pohybuje se od 30 do 50 %, ale záleží také na tepelném zpracování. [6]

Austeniticko-feritické oceli obvykle obsahují 0,02 % C a 0,25 % N a různého obsahu Cr, Ni a Mo. Korozní odolnost austeniticko-feritických ocelí proti všeobecné korozi je ve většině prostředí srovnatelná s austenitickými ocelmi. Zvyšování obsahu Cr vede ke snižování korozních rychlostí. Austeniticko-feritické oceli mají dobrou odolnost proti koroznímu praskání v prostředích obsahujících chloridy i ve vyšších koncentracích, ale problémy nastávají v prostředích, kde vzniká atomární vodík. Odolnost proti bodové a štěrbinové korozi je vyšší než u austenitických ocelí, odolnost proti mezikrystalové korozi je vyhovující. [6]

Používají se pro řadu zařízení v chemickém, petrochemickém, papírenském a energetickém průmyslu, pro zařízení přicházející do styku s mořskou vodou, na výměníky tepla, chladiče, kondenzátory, vařáky, odparky apod. V současné době je k dispozici i široký sortiment hutních polotovarů (plechy, trubky atd.). [6]

V poslední době byly vyvinuty tak zvané „superduplexní oceli“ s dále zlepšenou odolností proti korozi. Tyto oceli obsahují asi 25 % Cr, 7 % Ni, 3,5 % Mo a dusík a ještě i některé další přísady. [1]



obr. 1.9 Materiál 1.4462 s austeniticko-feritickou oceli [1]



obr. 1.10 Trubky z austeniticko-feritické oceli [1]

1.4 Obrobitelnost korozivzdorných ocelí

Korozivzdorné oceli (kromě feritických ocelí) jsou těžko obrobitelné. Tyto materiály mají sklon ke zpevňování obrobeného povrchu. Zpevnění vzniká přetvořením austenitu na deformační martenzit, který zvyšuje pevnost. Problém pak přináší rychlé opotřebení břitu, špatné lámání a špatný odchod třísek vlivem zadírání se v profilových drážkách nástrojů. Nízká tepelná vodivost způsobuje plastické deformace řezné hrany. Nárůstky na břitu způsobují následně nízkou jakost obrobeného povrchu. Chemická difuze mezi povrchem obrobku a břitou, obzvláště na kulatých vodicích fazetkách jsou dalším velice nepříznivým typem opotřebení. Vlivem této difuze dochází k vyplavování kobaltového pojiva z tvrdokovového řezného materiálu. K poškození nástroje dochází následně praskáním či vylamováním řezné hrany. [7]

Nejdůležitějším prvkem, který přispívá ke zlepšení obrobitelnosti korozivzdorných ocelí, je síra. Korozivzdorné oceli určené k třískovému obrábění je možné rozdělit: pro speciální použití jsou vedle toho k dispozici také speciální automatové oceli. Automatové oceli obsahují zpravidla 0,15 až 0,35 % síry. Síra tvoří ve

spojení s manganem sulfid manganu, jehož pozitivní účinek na obrobiteľnosť spočíva v lámavosti na drobné třísky, v hladkém povrchu obrobku a v menšom opotrebení nástrojů (obr. 11). U automatových ocelí je nutné si povšimnout určité újmy na odolnosti proti korozi. Oceli druhej skupiny obsahujú prísady síry v množství 0,015 až 0,030 % a tyto obsahy jsou ještě pod mezní hodnotou normy. Nastavením definované velikosti, počtem a rozložením sulfidů v příčném průřezu materiálu se v porovnání se standardními oceli s výrazně nižšími obsahy S dosahuje vyšší řezné rychlosti a o více než 100% delší trvanlivost nástroje. V porovnání s klasickými automatovými oceli jsou ale tyto hodnoty nižší. [1]



obr. 1.11 Příklady tvorby třísek při rozdílném obsahu síry [1]

1.5 Rozdělení obráběných materiálů

Při volbě nástroje a startovacích řezných podmínek je jednou z nejdůležitějších věcí správná identifikace obráběného materiálu. Pro zjednodušení rozdělujeme obráběné materiály v souladu s normou ISO 513 do šesti základních skupin, v nichž jsou sdružovány materiály, které vyvolávají kvalitativně stejný typ zatížení (namáhání) břitů a tudíž vyvolávají i podobný typ opotřebení. [8]

Prvním krokem je zařazení materiálu obrobku do jedné ze skupiny dle tabulky 1.4. Vzhledem k tomu, že je předmětem diplomové práce rovinné frézování korozivzdorné oceli, budou v následujících kapitolách řešeny nástroje určené pro obrábění skupiny M.

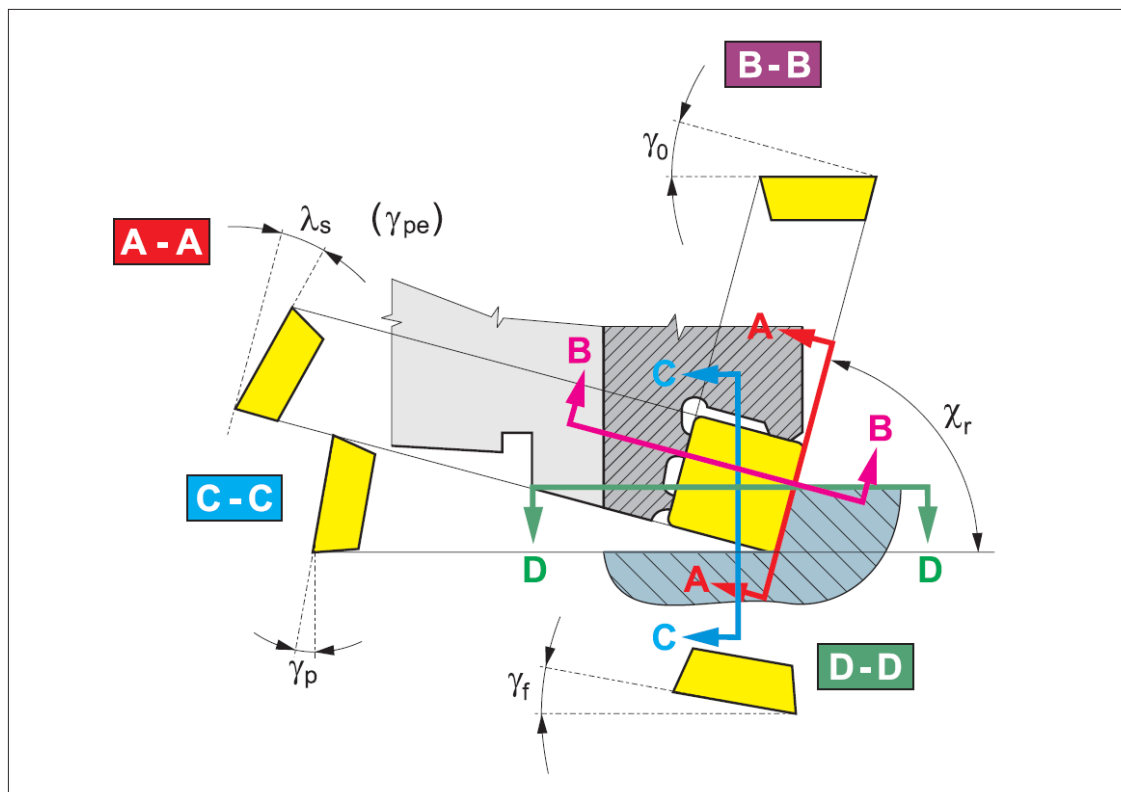
tab. 1.4 Rozdělení obráběných materiálů dle normy ISO 513 [9]

P	uhlíkové (nelegované) oceli třídy 10, 11, 12 legované oceli tříd 13, 14, 15, 16 nástrojové oceli uhlíkové (191..., 192..., 193...) nástrojové legované oceli (193... až 198...) uhlíková ocelolitina skupiny 26 (4226...) nízko a středně legované ocelolitiny skupiny 27 (4227...) feritické a martenzitické korozivzdorné oceli (třídy 17..., lité 4229...)
M	austenitické a feriticko austenitické oceli korozivzdorné, žáruvzdorné a žárovevné oceli nemagnetické a otěruvzdorné
K	šedá litina nelegovaná i legovaná (4224...) tvárná litina (4223...) temperovaná litina (4225...)
N	neželezné kovy, slitiny Al a Cu
S	speciální žárovevné slitiny na bázi Ni, Co, Fe a Ti
H	zušlechtěné oceli s pevností nad 1500 MPa kalené oceli HRC 48 – 85 tvrzené kokilové litiny HSh 55 – 85

2 Konstrukce a geometrie nástrojů

2.1 Úhly na frézovacím nástroji

Umístění a polohu břitové destičky ve fréze určuje velký počet úhlů (obr. 2.1).



obr. 2.1 Poloha břitové destičky upnuté ve fréze [8]

Základním úhlem je úhel nastavení ostří – κ_r , který charakterizuje úhel mezi plochou obráběného materiálu a hlavním ostřím destičky (obr. 2.2). Mezi další úhly, které určují polohu destičky ve fréze, patří úhel sklonu ostří – λ_s a ortogonální úhel čela – γ_0 . Oba úhly ovlivňují charakter obrábění. Ortogonální úhel čela (γ_0) ovlivňuje velikost řezných sil a tím i potřebný výkon strojního zařízení. Pozitivní úhel čela má za následek nižší potřebu výkonu stroje. [10]

Frézovací nástroje jsou charakterizovány dvěma základními úhly tj. axiálním úhlem čela γ_p (obr. 2.3) a radiálním úhlem čela γ_f (obr. 2.4). Axiální úhel čela je vztažen k rovině rovnoběžné s osou nástroje, radiální úhel čela je vztažen k rovině kolmé k ose nástroje. Tyto dva základní úhly spolu s úhlem nastavení předurčují frézovací nástroje pro jejich další použití. Při rovinném frézování se můžeme setkat se třemi typy geometrií fréz, kterými jsou:

- a) negativně – negativní,

b) pozitivně – pozitivní,

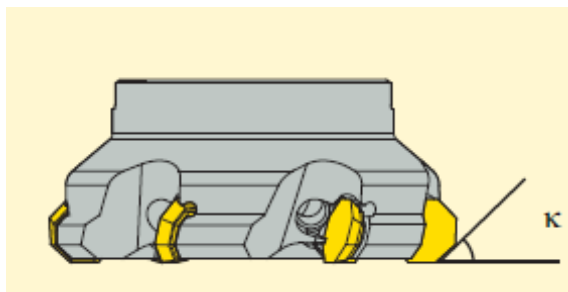
c) pozitivně – negativní.

- ad a) Frézovací nástroje s touto geometrií jsou určeny pro obrábění ocelí a šedých litin, při nichž dochází k velkému silovému zatížení břitu. Tato geometrie vyžaduje vysoký výkon strojního zařízení z důvodu vzniku velkých řezných sil. Rovněž vznikající tvar a velikost třísek může způsobovat potíže s hlediska zahlcování a ucpávání zubových mezer ve fréze. [10]
- ad b) Tato geometrie je charakteristická pro jednostranné typy vyměnitelných břitových destiček a je vhodná pro obrábění tenkostěnných a málo tuhých obrobků a pro strojní zařízení malých výkonů. Ostrá geometrie dobře utváří třísky, avšak při obrábění některých materiálů, např. tvárných ocelí, korozivzdorných ocelí, může docházet k torbě nárůstu. [10]
- ad c) Frézy s touto geometrií mají z hlediska poměru řezných sil vyšší řezné síly než u pozitivně pozitivních geometrií fréz, na druhou stranu ale nižší než u negativně negativních fréz. Tato geometrie je ideální pro obrábění s vysokými posuvy na zub a pro obrábění při velkých hloubkách řezů. Pozitivní axiální úhel čela má schopnost dobře utvářet třísky, negativní radiální úhel čela přispívá k odolnosti břitu proti lomu. Nástroje s touto geometrií břitu jsou velmi univerzální a s kombinací úhlu nastavení $\kappa_r = 45^\circ$ jsou vhodné pro celou škálu frézovacích operací. [10]

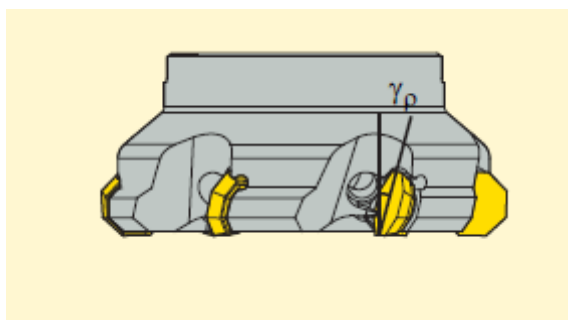
U různých typů fréz s vyměnitelnými břitovými destičkami z SK se můžeme setkat rovněž s různými tvary a velikostmi destiček. Provedení jednotlivých tvarů destiček koresponduje s výslednou geometrií frézovacího nástroje. Kromě samotné geometrie frézy se tedy na výsledné geometrii nástroje rovněž podílí i geometrie vyměnitelné břtové destičky. Tvar destičky ovlivňuje stabilitu ostří, počet zubů dosažitelnou jakost obrobeného povrchu. [10]

Mezi základní tvary destiček z hlediska jejich geometrie, patří destičky negativní, pozitivní a speciální. Negativní destičky mají jednoduchý čtvercový tvar a jsou určeny pro frézy s negativní geometrií. Pozitivní destičky se používají ve frézách s pozitivní geometrií. Speciální destičky mají pozitivní geometrii a jsou navíc opatřeny

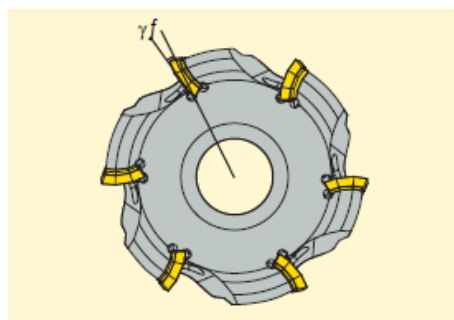
ještě svou pozitivní geometrií na čele destičky v podobě geometrických ploch s utvařeči třísek. Takto řešený tvar a geometrie destičky je ve výsledku velmi efektivní a projevuje se typickým lehčím řezem v obrobku a menší potřebou výkonu strojního zařízení. Stabilita ostří je zajištěna fasetkami, poloměry špiček a dalšími prvky na destičce. [10]



obr. 2.2 Úhel břitu nástroje κ_r [11]



obr. 2.3 Axiální úhel čela γ_p [11]



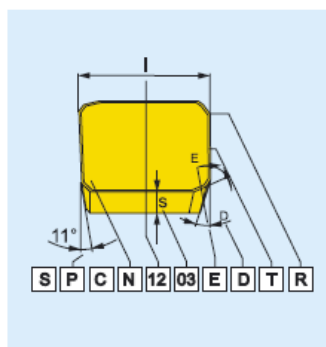
obr. 2.4 Radiální úhel čela γ_f [11]

2.2 Základní tvary a charakteristika VBD

Základní tvary destiček, jejich označení je dáno normou ISO 513. Norma podrobně popisuje systém používaných písmena číslic v označování tvarů a velikostí destiček a jejich geometrii a provedení (obr. 2.5). [8]

ISO - SYSTÉM ZNAČENÍ VYMĚNITELNÝCH BŘITOVÝCH DESTIČEK
ISO - SYSTÉM ZNAČENIA VYMENITELNÝCH REZNÝCH DOŠŤIČEK

1				2		4	
Tvar destičky / Tvar doštičky				Úhel hřbetu / Uhol chrbta		Provedení / Prevedenie	
H	O	P	R	A	B	N	R
S	T	C	D	C	D	F	A
E	M	V	W	E	F	M	G
L	A	B	K	G	N	W	T
					Speciální Špeciálny		Speciální Špeciálny
				P	O	Q	X

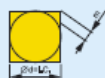


ISO kód

ANSI kód

1	2	3	4
S	P	G	N
S	P	K	N
1	2	3	4
S	P	G	
S	P	K	N

3						
Tolerance / Tolerancia						
Označení / Označenie	Tolerance / Tolerancia [mm]			Tolerance / Tolerancia [Palce]		
	m (±)	s (±)	d = I.C. (±)	m (±)	s (±)	d = I.C. (±)
A	0,005	0,025	0,025	0,0002	0,001	0,0010
F	0,005	0,025	0,013	0,0002	0,001	0,0005
C	0,013	0,025	0,025	0,0005	0,001	0,0010
H	0,013	0,025	0,013	0,0005	0,001	0,0005
E	0,025	0,025	0,025	0,0010	0,001	0,0010
G	0,025	0,130	0,025	0,0010	0,005	0,0010
J	0,005	0,025	0,05 ± 0,13	0,0002	0,001	0,002 ± 0,005
K	0,013	0,025	0,05 ± 0,13	0,0005	0,001	0,002 ± 0,005
L	0,025	0,025	0,05 ± 0,13	0,0010	0,001	0,002 ± 0,005
M	0,08 ± 0,18	0,130	0,05 ± 0,13	0,003 ± 0,007	0,005	0,002 ± 0,005
N	0,08 ± 0,18	0,025	0,05 ± 0,13	0,003 ± 0,007	0,001	0,002 ± 0,005
U	0,05 ± 0,38	0,130	0,08 ± 0,25	0,005 ± 0,015	0,005	0,003 ± 0,010



obr. 2.5 Systém značení VBD dle normy ISO 513 [8]

ISO - SYSTÉM ZNAČENÍ VYMĚNITELNÝCH BŘÍTOVÝCH DESTIČEK
ISO - SYSTÉM ZNAČENIA VYMIENITEĽNÝCH REZNÝCH DOŠŤIČEK

		5						
		Délka řezné hrany / Dĺžka rezného hrany						
d=I.C.		R	S	T	C	D	V	W
mm	Palce							
3,97	5/32"			06				
5,00	-	05						
5,56	7/32"			09				03
6,00	-	06						
6,35	1/4"			11	06	07		04
8,00	-	08						
9,525	3/8"	09	09	16	09	11	16	06
10,0	-	10						
12,0	-	12						
12,7	1/2"	12	12	22	12	15		08
15,875	5/8"	15	15	27	16			
16,0	-	16						
19,05	3/4"	19	19	33	19			
20,0	-	20						
25,0	-	25						
25,4	1"	25	25		25			
31,75	1 1/4"	31						
32,0	-	32						

6		
Tloušťka / Hrúbka		
Označ.	mm	Palce
01	1,59	1/16"
T1	1,98	5/64"
02	2,38	3/32"
03	3,18	1/8"
T3	3,97	5/32"
04	4,76	3/16"
05	5,56	7/32"
06	6,35	1/4"
07	7,94	5/16"
09	9,52	3/8"

7	
Úhel nastavení Uhol nastavenia	Úhel hřbetu fazetky Uhol chrbta fazetky
ZZ - Speciální/Speciálny	
Ozn.	α
A	45°
D	60°
E	75°
F	85°
P	90°
Z	Spec./Spec.
Ozn.	α _n
A	3°
B	5°
C	7°
D	15°
E	20°
F	25°
G	30°
N	0°
P	11°
Z	Spec./Spec.

5	6	7	8	9
12	03	08		
12	03	ED	S	R
5A	6A	7A	8	9
4	2	2		
4	2	ED	S	R

ANSI kód		
Vepsaná kružnice Vpísaná kružnica	Tloušťka Hrúbka	Rádus špičky Rádus hrotu
Označ.	d = I.C.	Označ.
	mm	mm
1	3,175	1/8"
(1.2)	3,969	5/32"
(1.5)	4,763	3/16"
(1.8)	5,556	7/32"
2	6,350	1/4"
(2.5)	7,938	5/16"
3	9,525	3/8"
4	12,700	1/2"
5	15,875	5/8"
6	19,050	3/4"
7	22,225	7/8"
8	25,400	1"
10	31,750	1-1/4"
Označ.	s	Označ.
	mm	mm
1	1,588	1/16"
(1.2)	1,984	5/64"
(1.5)	2,381	3/32"
2	3,175	1/8"
(2.5)	3,969	5/32"
3	4,763	3/16"
(3.5)	5,556	7/32"
4	6,350	1/4"
5	7,938	5/16"
6	9,525	3/8"
7	11,113	7/16"
8	12,700	1/2"
9	14,288	9/16"
10	15,875	5/8"
Označ.	r _c	Označ.
	mm	mm
0	0,050	1/512"
(0.2)	0,099	1/256"
(0.5)	0,198	1/128"
1	0,397	1/64"
2	0,794	1/32"
3	1,191	3/64"
4	1,588	1/16"
5	1,984	5/64"
6	2,381	3/32"
7	2,778	7/64"
8	3,175	1/8"
10	3,969	5/32"
12	4,763	3/16"
14	5,556	7/32"
16	6,350	1/4"
x	ostatní	

8	
Provedení řezné hrany / Prevedenie rezného hrany	
9	
Směr posuvu / Smer posuvu	

pokračování obr. 2.5 Systém značení VBD dle normy ISO 513 [8]

3 Frézovací nástroje pro obrábění korozivzdorné oceli

Pro obrábění korozivzdorných materiálů můžeme zařadit z hlediska geometrie dva základní tvary vyměnitelných břitových destiček - čtvercové pozitivní destičky a kruhové pozitivní destičky.

Čtvercové destičky jsou charakteristické úhlem hřbetu o velikost zpravidla 20° a dalšími geometrickými parametry, kterými jsou velikost fasetky, zaoblení řezné hrany, pozitivním úhlem na čele a souvislými geometrickými plochami na čele destičky (utvařeči třísek). Kruhové destičky se výrazně od koncepce čtvercových destiček neliší.

Frézovací nástroje pro obrábění korozivzdorných ocelí jsou na první pohled zřetelně charakteristické svou pozitivní geometrií. Základním viditelným parametrem fréz je jejich ostrost. Pozitivní axiální úhel a negativní radiální úhel lůžka frézy jsou tímto důkazem. Z pohledu designu samotných vyměnitelných břitových destiček za konstrukcí frézy nezaostávají. Ostrá geometrie destičky, spolu s vhodným utvařečem si klade za cíl minimalizovat negativní vlivy při procesu obrábění. Korozivzdorné oceli mají sklon k nalepování na břit destičky. Cílem geometrie destičky je být co nejostřejší a minimalizovat tak plochu styku odřezávané třísky a břitu. Je třeba zmínit, že frézy těchto typů mají úhel nastavení $\kappa_r = 45^\circ$.

3.1 Přehled používaných nástrojů na trhu, světové trendy

Současný trh nabízí velké množství konstrukčních řešení frézovacích nástrojů pro oblast rovinného frézování. Z hlediska světového trendu se konstrukce fréz dělí na dvě základní skupiny. Měřítkem dělení je tvar vyměnitelné břitové destičky. Jedná se o:

- a) čtvercový tvar destičky, např. SEEX 12,
- b) kruhový tvar, případně osmiúhelníkový tvar destičky, např. OFER 07.

Označení destičky vychází z normy ISO 513, která stanovuje pravidla pro identifikaci vyměnitelných břitových destiček pro oblast třískového obrábění.





Z praktického hlediska je nemožné jmenovat všechny výrobce a jejich sortiment používaných nástrojů pro obrábění korozivzdorných ocelí. V rámci této diplomové práce byla provedena pouze analýza hlavních konkurenčních nástrojů na evropském trhu. Pro analýzu byly využity veřejně dostupné katalogy a propagační materiály výrobců fréz. Přehled výrobců a jejich sortimentu je uveden v Příloze č. 1, a týká se pouze sortimentu frézovacích nástrojů pro destičky čtvercového průřezu.

4 Experimentální zkoušky obrábění korozivzdorných ocelí

4.1 Popis a charakteristika nástrojů

Z přehledu konkurenčních výrobců frézovacích nástrojů určených pro obrábění korozivzdorných ocelí (Příloha č. 1) byli vybráni tři hlavní zástupci, kteří budou podrobeni experimentálním zkouškám obrábění. Tito výrobci zaujímají na domácím trhu významné postavení a jejich koncepce řešení fréz pro oblast rovinného frézování patří mezi nejúspěšnější. V tabulce 4.1 jsou uvedeny základní technické parametry konkurenčních fréz pro oblast rovinného frézování korozivzdorných ocelí včetně současného řešení firmy Pramet.

tab. 4.1 Základní technická data fréz [12, 11, 13, 8]

Výrobce logo	Označení frézy	Úhel nastavení κ_r (°)	Geometrie (γ_p / γ_f) (°)	Axiální hloubka řezu $a_{p \max}$ (mm)	Označení VBD (ISO 513)
	ASX445	45	+20 / -13	6,0	SEET 13T3AGEN-JL SEMT 13T3AGSN-JM SEMT 13T3AGSN-JH
	220.53-12	45	+20 / -5	6,0	SEEX 1204AFTN-M14 SEEX 1204AFN-M10 SEMX 1204AFTN-ME12 SEMX 1204AFTN-M15
	345	45	neuvedeno	6,0	345R-1305E-PL 345R-1305M-PL
	S45SE12F-A	45	+18 / -6	6,5	SEET 1204AFSN SEEW 1204AFSN

Konstrukční řešení jednotlivých výrobců mají své odlišnosti a specifika. V následujících statích jsou popsány základní vlastnosti konstrukce fréz a vyměnitelných břitových destiček.

4.1.1 MITSUBISHI

Frézovací nástroje typu ASX 445, japonského výrobce Mitsubishi Materials, patří mezi světovou špičku. Námi zvolený typ frézy o průměru $D = 63$ mm s typovým označením ASX445-063A05R je uveden na obr. 4.1.

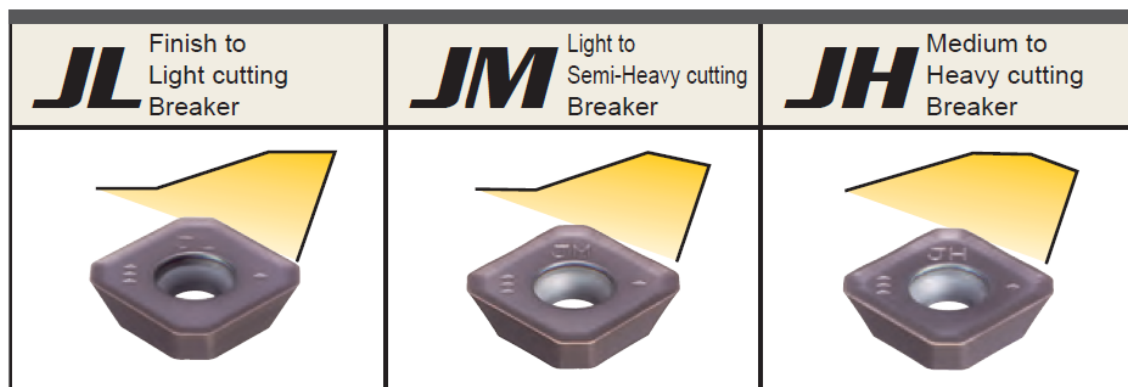


obr. 4.1 Fréza typu ASX445-063A05R - výrobce Mitsubishi Materials

Z hlediska vlastní konstrukce je tato fréza řešena jako nástrčná s upínáním do sklíčidla přes centrální šroub, který ale není součástí výbavy. Jednotlivé zuby, respektive lůžka zubů frézy jsou vybavena ochrannými podpůrnými podložkami ze slinutého karbidu. Vyměnitelné břitové destičky jsou upínány do lůžek frézy šroubkem. Povrchová úprava frézy, její lesklý vzhled, je zcela nestandardní. Nejedná se o povrchovou úpravu niklování, tak jak tomu obvykle bývá u jiných konkurentů. Součástí balení jsou utahovací klíče na šroubky podložky a destičky a mazací tuk. Výrobce přibaluje rovněž i dva šroubky navíc. Celkové zpracování frézy je na vysoké úrovni.

Tvary a velikosti vyměnitelných břitových destiček byly objednány podle doporučení výrobce. Pro frézu typu ASX445 a pro obrábění skupiny materiálů M nabízí výrobce celkem tři geometrie destiček (obr. 4.2). Jedná se o destičky typu SEET 13 a SEMT 13 ve dvou materiálových řadách s povlakem PVD a s obchodním označením VP15TF a VP30RT (obr. 4.3). Destičky typu SEET 13 i typu SEMT 13 jsou pouze broušeny

po obvodě a na dosedací ploše. Fazetky mají tyto destičky zhotovena pouze lisováním.



obr. 4.2 Geometrie JL, JM a JH vyměnitelných břitových destiček Mitsubishi [12]



obr. 4.3 Sortiment destiček MITSUBISHI pro frézování skupiny materiálů M

4.1.2 SECO

Frézovací nástroje typu R220-53-12, švédského výrobce Seco Tools, patří rovněž mezi velmi úspěšný produkt. Námi zvolený typ frézy o průměru $D = 63$ mm, s typovým označením R220.53-0063-12-5A je uveden na obr. 4.4.



obr. 4.4 Fréza typu R220.53-0063-12-5A - výrobce Seco Tools

Z hlediska vlastní konstrukce je tato fréza řešena opět jako nástrčná s upínáním do sklíčidla přes centrální šroub, který je zde součástí balení. Jednotlivá lůžka nejsou vybavena ochrannými podložkami ze slinutého karbidu, tak jako tomu bylo u frézy Mitsubishi ASX 445. Vyměnitelné břitové destičky jsou upínány do lůžek frézy šroubkou. Povrchová úprava frézy je standardní a jedná se o povrchovou úpravu niklování. Součástí balení je dále pouze utahovací klíč na šroubky destiček. Mazací tuk není dodáván. Celkové zpracování frézy je opět na vysoké úrovni.

Tvary a velikosti vyměnitelných břitových destiček byly objednány podle doporučení výrobce. Pro frézu typu R220.53-12 a pro obrábění skupiny materiálů M nabízí výrobce celou řadu geometrií destiček. První skupinou jsou destičky typu SEEX 12, které jsou obvodově broušeny a mají broušenou i čelní fazetku. Druhou skupinou jsou destičky typu SEMX 12, které jsou rovněž obvodově broušeny s tím rozdílem, že nemají broušené čelní fazetky. Fazetky jsou v tomto provedení pouze „přímo-lisovány“. Z katalogu výrobce je možno objednat destičky v několika

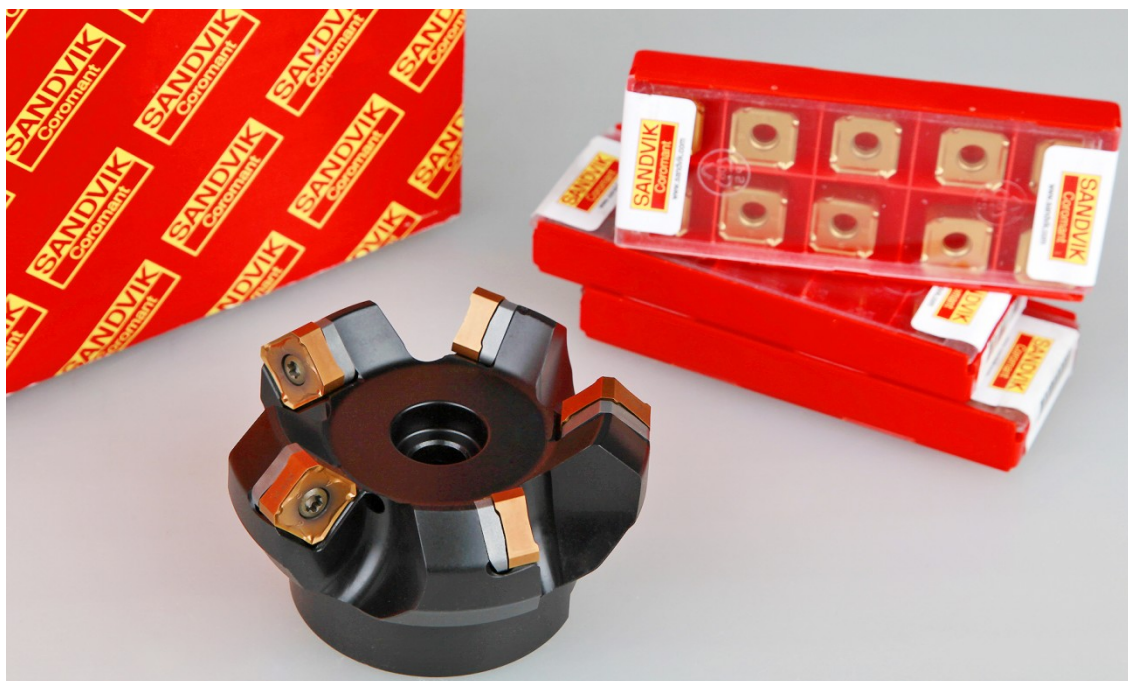
materiálových řadách s PVD i CVD povlaky. Námi objednaný sortiment destiček je pouze s povlaky PVD a je uveden na obrázku 4.5.



obr. 4.5 Sortiment destiček SECO pro frézování skupiny materiálů M

4.1.3 SANDVIK

Frézovací nástroje typu 345, švédského výrobce Sandvik Coromant, patří mezi novinku na domácím trhu. Námi zvolený typ frézy o průměru $D = 63$ mm, s typovým označením 345-063Q22-13M (obr. 4.6) je na první pohled zřetelně odlišný v porovnání s předchozími konkurenty.



obr. 4.6 Fréza typu 345-063Q22-13M - výrobce Sandvik Coromant

Z hlediska vlastní konstrukce je tato fréza sice řešena opět jako nástrčná s upínáním do sklíčidla přes centrální šroub, který je zde rovněž součástí balení, je však odlišná z hlediska provedení lůžek. Jednotlivá lůžka jsou vybavena ochrannými podložkami ze slinutého karbidu, avšak na rozdíl od předchozích konkurentů, mají podložky přesné tvarování pro „utvařečový“ prolis na destičce. Vyměnitelné břitové destičky jsou v tomto řešení frézy oboustranné a disponují dvojnásobným počtem řezných hran. Upínány destiček do lůžek frézy je standardně s pomocí šroubků. Povrchová úprava frézy je konvenční a jedná se o povrchovou úpravu černěním. Součástí balení jsou utahovací klíče na šroubky, opěrných podložek a destiček; mazací tuk je rovněž součástí balení. Celkové zpracování frézy je opět na vysoké úrovni.

Tvary a velikosti vyměnitelných břitových destiček byly objednány podle doporučení výrobce. Pro frézu typu 345 a pro obrábění skupiny materiálů M nabízí výrobce pouze dvě geometrie destiček, a ve třech materiálech. První skupinu tvoří destičky typu 345R-1305E-PL, druhou destičky typu 345R-1305M-PL. Obě geometrie destiček jsou obvodově broušené. Čelní fazetky a utvařeče jsou „přímo-lisovány“. Katalog výrobce nabízí destičky pouze s PVD povlaky. Námi objednaný sortiment destiček je a je uveden na obrázku 4.7.



obr. 4.7 Sortiment destiček SANDVIK 345R pro frézování skupiny materiálů M

4.1.4 PRAMET

Frézovací nástroje typu S45SE12F-A, tuzemského výrobce Pramet Tools, patří rovněž mezi standard. Námi zvolený typ frézy o průměru $D = 63$ mm, s typovým označením 63A05R-S45SE12F-A je uveden na obr. 4.8.



obr. 4.8 Fréza typu 63A05R-S45SE12F-A - výrobce Pramet Tools

Z hlediska vlastní konstrukce je tato fréza řešena opět jako nástrčná s upínáním do sklíčidla přes centrální šroub, ten však není součástí balení. Jednotlivá lůžka nejsou vybavena ochrannými podložkami ze slinutého karbidu, tak jako tomu bylo např. u frézy Mitsubishi ASX 445. Vyměnitelné břitové destičky jsou upínány do lůžek frézy šroubky. Povrchová úprava frézy je konvenční a jedná se o povrchovou úpravu černěním. Součástí balení je dále pouze utahovací klíč na šroubky destiček a mazací tuk Molyko. Celkové zpracování frézy je standardní.

Tvary a velikosti vyměnitelných břitových destiček byly objednány podle doporučení výrobce. Pro frézu typu S45SE12F-A a pro obrábění skupiny materiálů M nabízí výrobce pouze dvě geometrie destiček. Obě geometrie jsou obvodově broušeny a broušenou čelní fazetku a dosedací plochy. Rozdíl v geometriích je pouze s pohledu provedení čelní plochy destičky. Destičky typu SEET 12 mají čelní utvařeč, destičky typu SEEW 12 jsou bez utvařeče. Z katalogu výrobce je možno objednat destičky v několika materiálových řadách s PVD i CVD povlaky. Námi objednaný sortiment destiček je pouze s povlaky PVD a je uveden na obrázku 4.9.







obr. 4.9 Sortiment destiček PRAMET pro frézování skupiny materiálů M

4.2 Volba řezných podmínek

Startovní, výchozí řezné podmínky doporučují výrobci fréz pro jednotlivé oblasti obrábění podle normy ISO 513. Podmínky jsou vztaženy k jednotlivým geometriím vyměnitelných břitových destiček a jejich materiálů. Pro námi vybraný sortiment fréz a destiček výrobců Mitsubishi, Seco, Sandvik a Pramet jsou řezné podmínky v tabulce 4.2.

tab. 4.2 Porovnání doporučených řezných podmínek [12, 11, 13, 8]

Výrobce VBD	Označení VBD (ISO 513)	Řezná rychlost v_c ($m \cdot min^{-1}$)	Rozsah posuvů f_z ($mm \cdot zub^{-1}$)
	SEET 13T3AGEN-JL	150 – 270	0,10 – 0,20
	SEMT 13T3AGSN-JM		0,10 – 0,30
	SEMT 13T3AGSN-JH		0,20 – 0,40
	SEEX 1204AFTN-M14	130 – 220	0,15 – 0,30
	SEEX 1204AFN-M10		0,10 – 0,20
	SEMX 1204AFTN-ME12		0,10 – 0,20
	SEMX 1204AFTN-M15		0,10 – 0,20
	345R-1305E-PL	150 – 250	0,08 – 0,18
	345R-1305M-PL		0,08 – 0,18
	SEET 1204AFSN	110 – 160	0,20 – 0,40
	SEEW 1204AFSN		0,15 – 0,40

4.3 Návrh experimentu

Díličím cílem diplomové práce je provést praktické porovnání vybraných fréz a jejich destiček. Z hlediska experimentálních zkoušek obrábění budou provedeny dvě základní kapitoly experimentu:

- 1) První část je zaměřená na funkční zkoušky obrábění,
- 2) Druhá část je zaměřená na porovnání trvanlivostí při reálných řezných podmínkách.

4.3.1 Rozměrové vlastnosti fréz a VBD

Před zahájením experimentálních zkoušek obrábění se nejprve provádí měření rozměrových vlastností frézovacích nástrojů a jejich destiček.

Rozměrové vlastnosti fréz, jejich měření se provádí z důvodu zjištění skutečných hodnot výrobků s deklarovanými hodnotami uváděnými v produktových katalozích konkurence a to vždy pokud se jedná o porovnávací zkoušky obrábění. Mezi měřené parametry u fréz patří vždy řezný průměr D , výška nástroje H , obvodová a čelní házivost, axiální úhel čela γ_p a radiální úhel čela γ_f . Výrobci destiček používají nesprávné slovní označení pro oba tyto úhly na nástroji. Literatura uvádí γ_p – nástrojový zadní úhel čela, γ_f – nástrojový boční úhel čela. [14]

Měření řezného průměru D a házivostí bylo provedeno s destičkami označenými v tabulce zeleným stínováním. Výsledky měření jsou uvedeny v Příloze č. 2.

Z naměřených hodnot vyplývá, že pouze fréza typu 345R od výrobce Sandvik má geometrii negativně-negativní. Ostatní výrobci mají typickou geometrii lůžka frézy pro obrábění skupiny materiálu M, tj. geometrie pozitivně- negativní.

Rozměrové vlastnosti VBD, pro účely experimentálních řezných zkoušek, jejich měření se provádí pouze ve zjištění velikosti – šířky fazetky t a velikost zaoblení řezného ostří destičky R . Výsledky měření jsou uvedeny v Příloze č. 3.

4.3.2 Funkční zkoušky obrábění

Pro prvotní ověření funkčnosti nástrojů, jsou prováděny vstupní řezné zkoušky obrábění, které si kladou za cíl odzkoušet a zkontrolovat:

- 1) způsob utváření třísky v řezu a její vzhled,
- 2) trajektorie odchodu třísky z místa řezu,
- 3) tvar a velikost třísky obráběného materiálu - charakteristika třísek,
- 4) chod nástroje v řezu - hlučnost, vibrace, chvění,
- 5) doporučený rozsah posuvů na zub f_z , pro danou geometrii VBD,
- 6) chod nástroje v řezu při různých axiálních hloubkách řezu $a_{p\max}$.

Zkoušky obrábění se provádějí na zkušebně obrábění Pramet, která je pro tyto účely vybavena frézovacím CNC centrem MCV 1270 Power, výrobce Kovosvit MAS, Sezimovo Ústí (obr. 4.10). Technické parametry centra MCV 1270 Power jsou uvedeny v tabulce 4.3.



obr. 4.10 Frézovací centrum MCV 1270 Power

tab. 4.3 Technické parametry frézovacího centra MCV 1270 [15]

Název celku	Jednotka	Velikost
Stůl		
Upínací plocha stolu	mm	1500 x 670
Maximální zatížení stolu	kg	1200
Pracovní rozsah		
Osa X-Y-Z	mm	1270-610-720
Stroj		
Délka x šířka x výška	mm	5000 x 3600 x 3330
Výkon motoru S1/S6 – 25 % (40 %)	kW	ISO 40 (28/43); ISO 50 (28/43)
Maximální otáčky vřetena	ot/min	8000
Počet míst v zásobníku	ks	ISO 40 (30); ISO 50 (24)

Funkční zkoušky obrábění byly prováděny na korozivzdorné oceli jakosti 17 349.4 (EN ISO: X2CrNiMo17-12-2, DIN: X2 CrNiMo 18 14 3). Její mechanické vlastnosti a chemické složení je uvedeno v tabulce 4.4 a 4.5.

tab. 4.4 Mechanické vlastnosti korozivzdorné oceli jakosti 17 349 (X2CrNiMo17-12-2) [16]

Název	Velikost
Mez pevnosti v tahu R_m (MPa)	440 až 690
Minimální mez kluzu R_e (MPa)	176
Minimální tažnost A_5 (%)	35
Minimální nárazová práce KV (J)	68

tab. 4.5 Chemické složení korozivzdorné oceli jakosti 17 349 (X2CrNiMo17-12-2) [16]

Chemické složení (%)								
C max	Mn max	Si max	P max	S max	Cr	Ni	Mo	ostatní
0,03	2,00	1,00	0,045	0,03	16,5 až 18,5	11,0 až 14,0	2,00 až 2,50	

Před zahájením vlastních funkčních zkoušek obrábění jsou frézy vždy plně osazeny příslušným typem VBD. Na obrobku – polotovaru k obrábění z oceli jakosti 17 349.4 o rozměrech (výška 300 mm, šířka 300 mm a hloubka 100 mm) byla před zahájením zkoušek obrábění proměřena její tvrdost ve třech různých místech povrchu tvrdoměrem EQUOTIP. Základní technická data tvrdoměru EQUOTIP jsou uvedena v tabulce 4.6. Měření tvrdosti je znázorněno na obrázku 4.11. Naměřené hodnoty tvrdosti obrobku jsou uvedeny v tabulce 4.7.

tab. 4.6 Technická data tvrdoměru EQUOTIP [17]

Název celku	Jednotka	Velikost
Rozsahy měření pro oceli	HB	80 až 650
	HV	80 až 940
	HRC	20 až 68
hliníková slévárenská slitina	HB	30 až 160
litina	HB	90 až 380
mosaz	HB	40 až 170
měděné slitiny k tváření	HB	45 až 315



obr. 4.11 Měření tvrdosti obrobku tvrdoměrem

tab. 4.7 Naměřené hodnoty tvrdosti obrobku z korozivzdorné oceli 17 349.4

Poloha měření (popis)	Tvrdost podle Rockwella (HRC)
Místo č.1 – kraj, střed – zleva	163
Místo č.2 – střed, střed – uprostřed plochy	165
Místo č.3 – kraj, střed – zprava	167
Průměrná hodnota tvrdosti obrobku	165

4.3.2.1 Utváření třísky v místě řezu

Jedná se o funkční řezné zkoušky obrábění s důrazem na sledování utváření třísky při procesu řezání (frézování) v místě řezu, jejich následným odběrem a vyhodnocením. Získané třísky je možné seřadit podle parametrů řezných podmínek, tzn. podle axiální hloubky řezu a_p a posuvu na zub f_z . Z takto uspořádaných třísek je možné získat přehledný „diagram“ utváření třísek. Důraz je rovněž kladen na proměření jakosti obrobené plochy a získání hodnoty drsnosti povrchu R_a pro daný typ

a geometrii VBD. Zkoušky utváření třísky byly provedeny při řezných podmínkách uvedených v tab. 4.8. Vyhodnocení je uvedeno v Kapitole 5.

tab. 4.8 Řezné podmínky funkčních zkoušek obrábění

Název		Hodnota	
Řezná rychlost		$v_c = 150 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$	
Axiální hloubka řezu		$a_p = 1 \text{ mm}; 3 \text{ mm}$	
Radiální hloubka řezu		$a_e = 50 \text{ mm}$	
Výrobce VBD	Označení VBD	Posuv na zub f_z (mm · zub ⁻¹)	Posuv f_{\min} (mm · min ⁻¹)
MITSUBISHI	SEET 13T3AGEN-JL; VP30RT	0,10; 0,20	379; 758
	SEMT 13T3AGSN-JM; VP30RT	0,10; 0,30	379; 1137
	SEMT 13T3AGSN-JH; VP30RT	0,20; 0,40	758; 1516
SECO	SEEX 1204AFTN-M14; F40M	0,15; 0,30	568; 1137
	SEEX 1204AFN-M10; F40M	0,10; 0,20	379; 758
	SEMX 1204AFTN-ME12; F40M	0,10; 0,20	379; 758
	SEMX 1204AFTN-M15; F40M	0,10; 0,20	379; 758
SANDVIK	345R-1305E-PL; 2030	0,08; 0,18	303; 682
	345R-1305M-PL; 1030	0,08; 0,18	303; 682
PRAMET	SEET 1204AFSN; 8230	0,20; 0,40	758; 1516
	SEEW 1204AFSN; 8230	0,15; 0,40	758; 1516

4.3.2.2 Trajektorie odchodu třísky z místa řezu

Analýza trajektorie odchodu třísky z místa řezu si klade za cíl zmapovat směr odcházející třísky. Hlavní požadavek je kladen na hladký odchod třísky z místa řezu a eliminace možného poškození obrobeného povrchu výrobku a nástroje. Rychlost, kterou tříska odchází z místa řezu, je závislá na otáčkách vřetene.

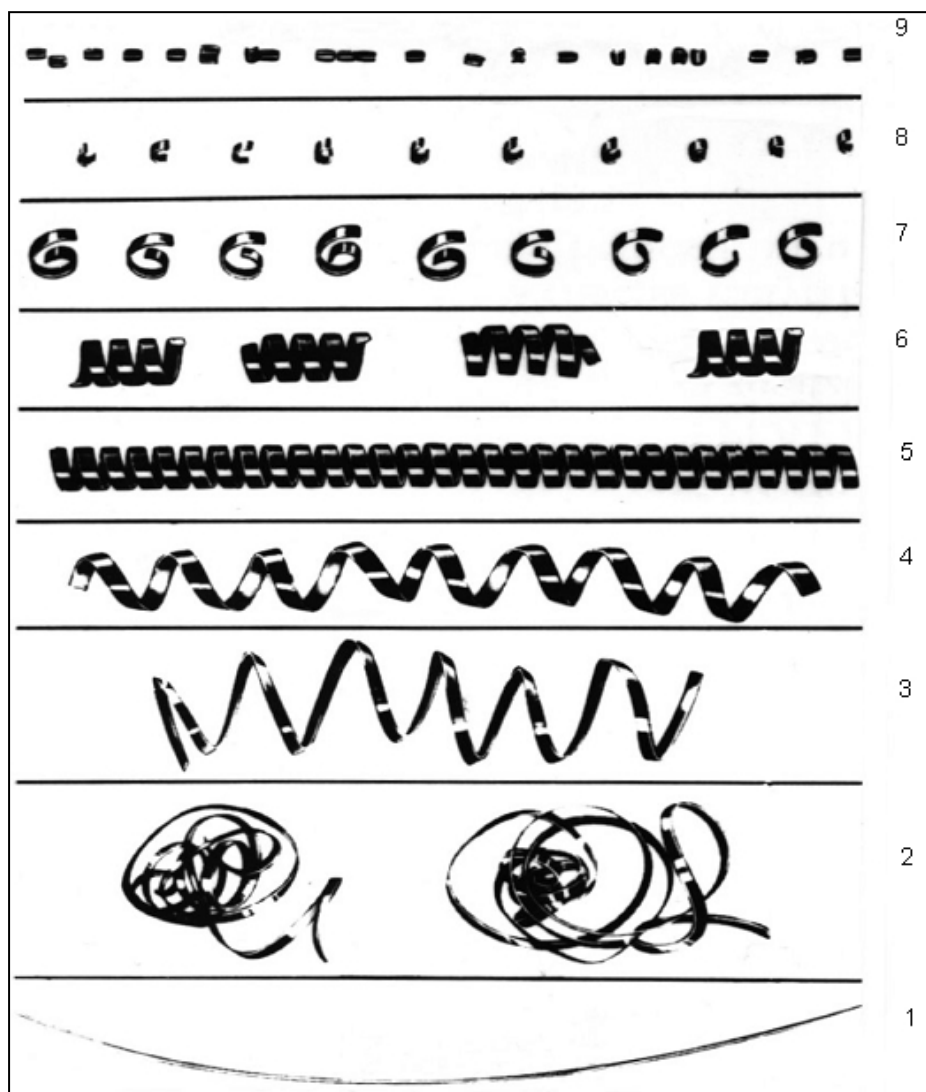
Směr letu třísky je závislý na způsobu frézování (sousledné, nesousledné), záběrových podmínkách, tj. poloze nástroje vůči obrobku (velikosti a polohy poměru D/a_e), geometrii VBD a jakosti obráběného materiálu. Detailní analýzu odchodů třísek z místa řezu je možné zjistit za pomoci vysokorychlostní kamery. Vyhodnocení je uvedeno v Kapitole 5.

4.3.2.3 Charakteristika třísky

Charakteristika třísky se týká analýzy tvaru a velikosti třísky odřezávaného materiálu z místa řezu. Požadavky kladené na třísky vysoké. Je důležité, aby vznikající teplo při procesu řezání nebylo akumulováno do obráběného materiálu ani do

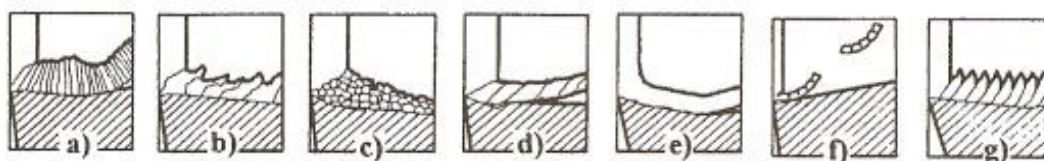
nástroje, ale aby jeho největší část odcházela v tříse. Nejvíce tento proces ovlivňuje vhodná volba řezných podmínek, tj. řezná rychlost v_c a posuv na zub f_z .

Třísky, její tvar a vzhled můžeme dělit podle různých hledisek; např. výrobce nástrojů SECO Tools, třídí třísky do devíti skupin (obr. 4.12). Skupina 1 až 5 představuje nevyhovující tvary třísek, skupina 6 až 9 vyhovující tvary třísek.



obr.4.12 Zařazení třísek podle společnosti SECO Tools [18]

Jiný pohled na charakteristiku třísky, tedy vzhled, tvar a členitost představuje členění na obr. 4.13. [19]



obr. 4.13 Základní druhy tváření třísek při obrábění [19]

- a) plynulá článkovitá soudržná tříška;
- b) plynulá soudržná lamelová tříška;
- c) tvářená elementární tříška;
- d) nepravidelně článkovitá plynulá tříška;
- e) tvářená plynulá soudržná tříška;
- f) dělená segmentová tříška;
- g) plynulá segmentová tříška

Vyhodnocení je uvedeno v Kapitole 5.

4.3.2.4 Chod nástroje v řezu

Vlastnosti při chodu nástroje v řezu jsou charakterizovány vznikem hlučnosti, vibrací a chvění. Všechny tři zmiňované vlastnosti jsou pro proces obrábění nepříznivé. Vhodnou volbou záběrových a řezných podmínek se snažíme tyto nechtěné jevy minimalizovat. Základním předpokladem pro eliminaci takovýchto nepříznivých jevů je existence dostatečné tuhosti celé soustavy stroj-obrobek-nástroj.

Při frézování pracuje břit (ostří) frézy téměř vždy v režimu přerušovaného řezu. Během otáčky nástroje vniká každý břit minimálně jedenkrát do obrobku a jedenkrát ze záběru vychází. V okamžiku vniknutí břitu do obrobku je tento břit vystaven intenzivnímu mechanickému rázu, který vyvolává jeho mechanické namáhání v bezprostřední blízkosti ostří. Tento ráz může při nevhodně zvolených záběrových podmínkách vyvolat křehké porušení břitu, a to buď ve formě lomu, nebo vydrolení ostří. [19] Vyhodnocení je uvedeno v Kapitole 5.

4.3.2.5 Rozsah posuvů na zub f_z

Velikost rozsahu posuvů na zub f_z dán tvarem, velikostí a geometrií VBD. Stanovení rozsahu posuvů vychází především z geometrie, z velikosti fazetky na hlavním ostří destičky. Šířka fazetky je limitní parametr pro použití minimálního posuvu na zub $f_{z\min}$. Frézování s posuvem na zub pod $f_{z\min}$ je ostří vystavováno extrémnímu namáhání. Je proto důležité, aby hodnota minimálního posuvu $f_{z\min}$ byla ze strany uživatele respektována. Horní hranice použití maximálního posuvu na zub $f_{z\max}$ bývá zpravidla stanovena z výsledků zkoušek trvanlivosti obrábění.

Vyhodnocení je uvedeno v Kapitole 5.

4.3.2.6 Axiální hloubka řezu $a_{p \max}$

Během procesu frézování dochází k velkým silovým namáháním celé soustavy - nástroje, stroje a jeho konstrukčních celků a obrobku. Způsob upnutí obrobku, vyložení vřetene a pinoly nejvíce ovlivňují maximální hloubku řezu. Použití nástroje v řezu při maximální hloubce řezu $a_{p \max}$ tedy předpokládá splnění určitých podmínek. Jsou jimi především:

- a) charakter a typ operace frézování (hrubování, polohrubování, dokončování),
- b) jakost obráběného materiálu,
- c) stav a kvalita povrchu obráběného materiálu (okuje, svary, kůra, aj.),
- d) tuhost a způsob upnutí,
- e) záběrové podmínky (poměr a_e/D ; sousledné a nesousledné frézování),
- f) délka vyložení vřetene, případně pinoly ze stroje,
- g) dostatečný výkon na vřetenu.

Z výše uvedených podmínek, které ovlivňují použití a využití samotného nástroje při axiální hloubce řezu $a_{p \max}$ je mnoho. Vyhodnocení je uvedeno v Kapitole 5.

4.3.3 Zkoušky trvanlivosti obrábění

Cílem zkoušek trvanlivosti obrábění je získat skutečné hodnoty o trvanlivosti řezné hrany při reálném procesu obrábění. Řezné zkoušky na trvanlivost jsou prováděny při stejných parametrech, tzn. při stejných řezných a záběrových podmínkách. Z důvodu široké škály geometrií a rozsahů použití námi testovaných vzorků destiček, které jsou definované výrobcí, je hlavním vodítkem pro rozřídění geometrií údaj o doporučeném rozsahu použití posuvu na zub f_z .

Na základě doporučených rozsahu posuvů (tab. 4.2) bylo provedeno rozdělení všech vzorků destiček do dvou skupin. První skupina označená písmenem A představuje geometrii destiček, které jsou doporučeny pro střed oblasti posuvu na zub $f_z = 0,15 \text{ mm} \cdot \text{zub}^{-1}$. Druhou skupinu označenou písmenem B, tvoří geometrie destiček, které jsou doporučeny pro střed oblasti posuvu na zub $f_z = 0,25 \text{ mm} \cdot \text{zub}^{-1}$. Pro tyto skupiny byly zvlášť stanoveny řezné podmínky pro porovnávací zkoušky obrábění na trvanlivost (tab. 4.9 a tab. 4.10.)

tab. 4.9 Řezné podmínky pro skupinu A ($f_z = 0,15 \text{ mm} \cdot \text{zub}^{-1}$)

Název	Hodnota
Řezná rychlost	$v_c = 150 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
Posuv	$f_{\min} = 114 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Axiální hloubka řezu	$a_p = 2,0 \text{ mm}$
Radiální hloubka řezu	$a_e = 50 \text{ mm}$
Výrobce VBD	Označení VBD
PRAMET	SEEW 1204AFSN; 8230
SECO	SEEX 1204AFN-M10; F40M
SECO	SEMX 1204AFTN-ME12; F40M
MITSUBISHI	SEET 13T3AGEN-JL; VP30RT
SANDVIK	345R-1305E-PL; 2030

Porovnávací zkoušky obrábění na zkušebně Pramet, jsou vždy prováděny s nástrojem - frézou, která je osazena pouze jednou destičkou příslušného typu. Každá geometrie destičky je odzkoušena minimálně na dvou vzorcích destiček. V případě vysokého rozptylu hodnot opotřebení, je dodatečně odzkoušena další destička.

Porovnávané tvary a geometrie destiček jsou k sobě párovány podle naměřených hodnot velikostí fazetek t a velikosti zaoblení řezné hrany R (kapitola 4.3.1, Příloha č. 3).

tab. 4.10 Řezné podmínky pro skupinu B ($f_z = 0,25 \text{ mm} \cdot \text{zub}^{-1}$)

Název	Hodnota
Řezná rychlost	$v_c = 140 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
Posuv	$f_{\min} = 177 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
Axiální hloubka řezu	$a_p = 2,0 \text{ mm}$
Radiální hloubka řezu	$a_e = 50 \text{ mm}$
Výrobce VBD	Označení VBD
PRAMET	SEET 1204AFSN; 8230
SECO	SEEX 1204AFTN-M14; F40M
SECO	SEMX 1204AFTN-M15; F40M
MITSUBISHI	SEMT 13T3AGSN-JM; VP30RT
MITSUBISHI	SEMT 13T3AGSN-JH; VP30RT

Obráběným materiálem pro zkoušky trvanlivosti obrábění je opět korozivzdorná ocel jakosti 17 349.4 (X2CrNiMo17-12-2) s tvrdostí 165 HB. Rozměr polotovaru obrobku je shodný s obrobkem použitým pro funkční zkoušky obrábění (kapitola 4.3.2).

Zkoušky trvanlivosti obrábění se provádějí podle normy ČSN-ISO 8688-1. [20]
V průběhu zkoušek trvanlivosti obrábění, jsou destičky po určitém časovém intervalu, který je zpravidla dán délkou obráběné plochy (tzn. dráhou průjezdu), pravidelně měřeny na opotřebení na hřbetě a na špičce destičky. Opotřebení je měřeno na mikroskopu. Průběžně jsou rovněž pořizovány i snímky (fotografie) opotřebení na destičkách. Kritériem trvanlivosti řezného ostří podle normy ČSN-ISO 8688-1 je dosažení hodnoty opotřebení na hřbetě $VB_B = 0,3$ mm. Při obrábění korozivzdorných ocelí lze předpokládat, že kritérium VB_B nebude splněno a k ukončení trvanlivosti řezného ostří dojde v důsledku jeho vylomení.

Výsledky řezných zkoušek na trvanlivost jsou uvedeny v Kapitole 5.

5 Vyhodnocení zkoušek obrábění

Vyhodnocení experimentálních zkoušek obrábění je rozděleno na dvě kapitoly. První kapitola je věnována vyhodnocení z hlediska funkčních zkoušek obrábění. Druhá kapitola se týká vyhodnocení výsledků porovnávacích zkoušek na dosaženou trvanlivost.

5.1 Funkční zkoušky obrábění

5.1.1 Utváření třísky v místě řezu

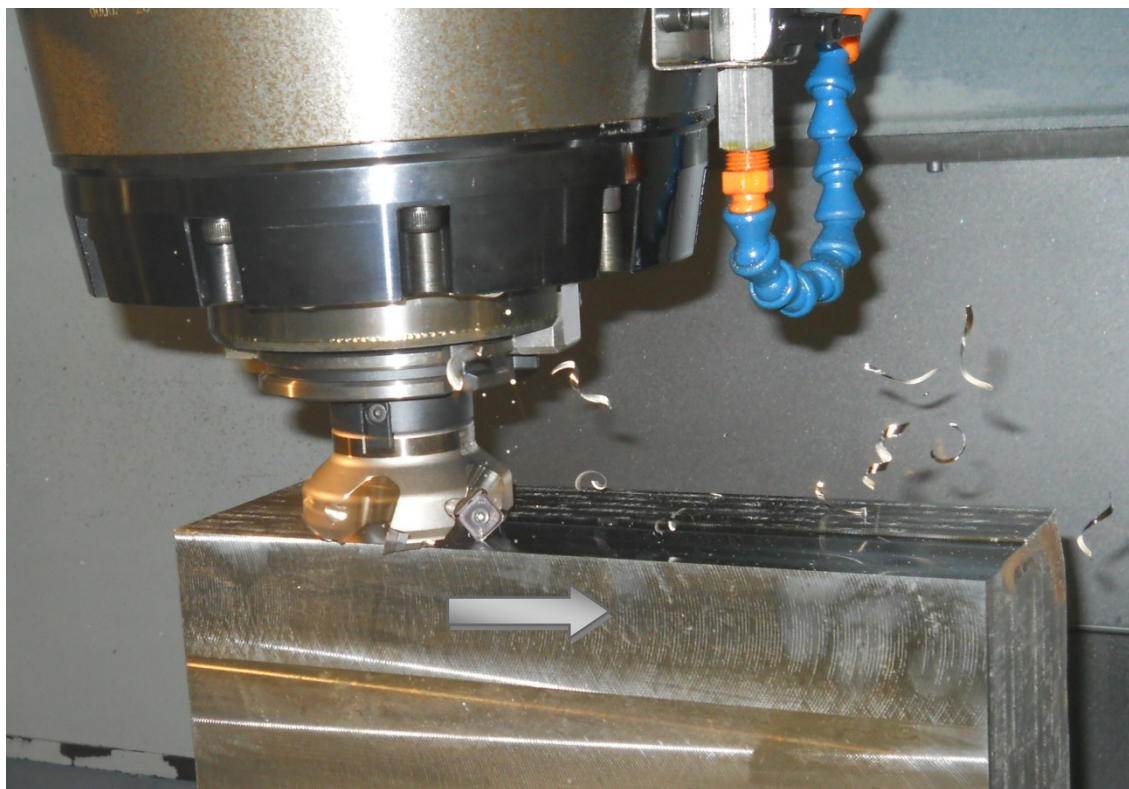
Výsledky řezné zkoušky *utváření třísky* (dle kapitoly 4.3.2.1) můžeme shrnout do následujících bodů:

- a) ze souboru řezných zkoušek podle řezných podmínek uvedených v tabulce 4.8 byly získány utvářecí diagramy pro všechny typy VBD a jejich geometrie,
- b) utvářecí diagramy třísek jednotlivých výrobců a typů VBD jsou uvedeny v Příloze č. 4,
- c) při celém souboru řezných zkoušek s vytipovanými destičkami byl rozsah posuvů na zub f_z volen podle doporučení výrobců na hodnotách posuvu minimálního a maximálního,
- d) ze všech diagramů třísek je patrné, že se třísky utvářejí do určitých tvarů s danou pravidelností, zachovávají si spirálovitý tvar, jsou stočené a velikost třísek odpovídá axiální hloubce řezu a_p a posuvu zub f_z ,
- e) zatříděním tvarů třísek je uvedeno v kapitole 5.3.1.

Trajektorie odchodu třísky z místa řezu

Výsledky řezné zkoušky *trajektorie odchodu třísky z místa řezu* (dle kapitoly 4.3.2.2) můžeme shrnout do následujících bodů:

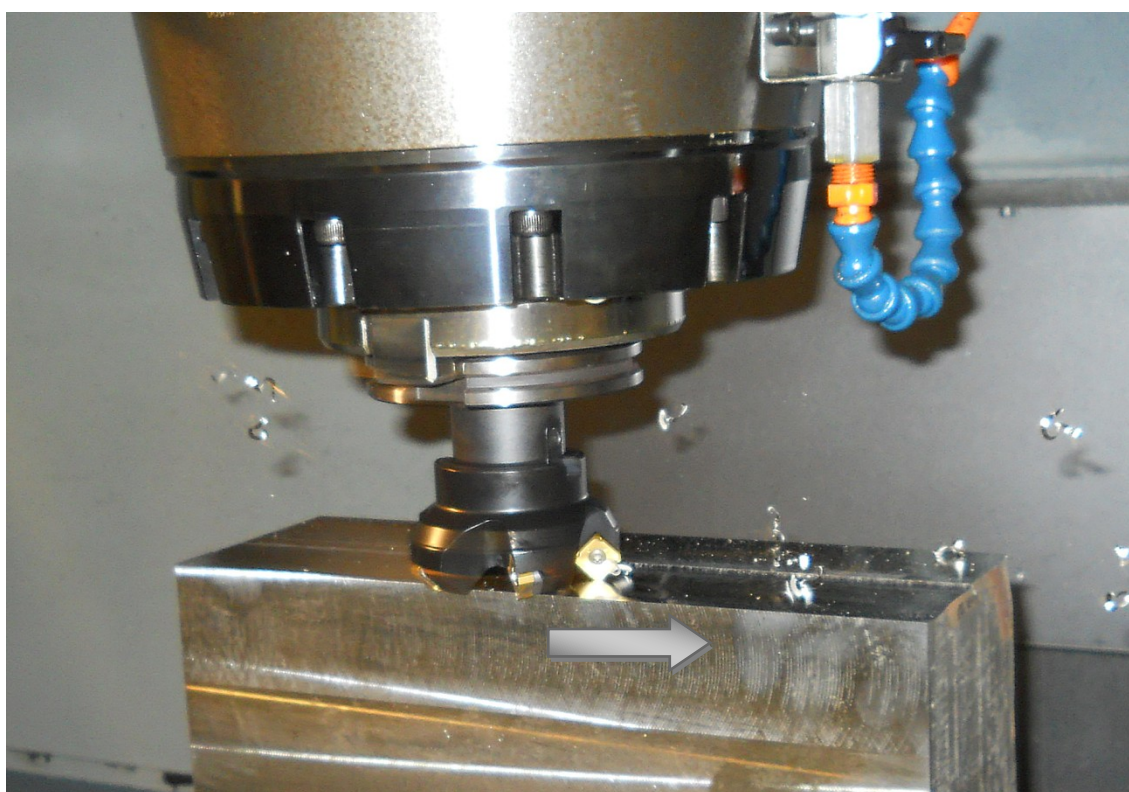
- a) trajektorie odchodu třísky z místa řezu při obrábění korozivzdorné oceli 17 349.4 je pro všechny geometrie destiček shodná,
- b) při obou testovaných hloubkách řezů a_p a rozsahů posuvů na zub f_z není odchod třísky doprovázen příznaky nalepování třísky na řeznou hranu destičky,
- c) během celého souboru řezných zkoušek nedocházelo k poškození obrobeného povrchu obrobku,
- d) u žádného typ frézy nedocházelo k ucpávání zubové mezery,
- e) tříska odcházela v opačném směru, než byl směr posuvu frézy, jak je patrné z obrázků 5.12 až obrázků 5.15.



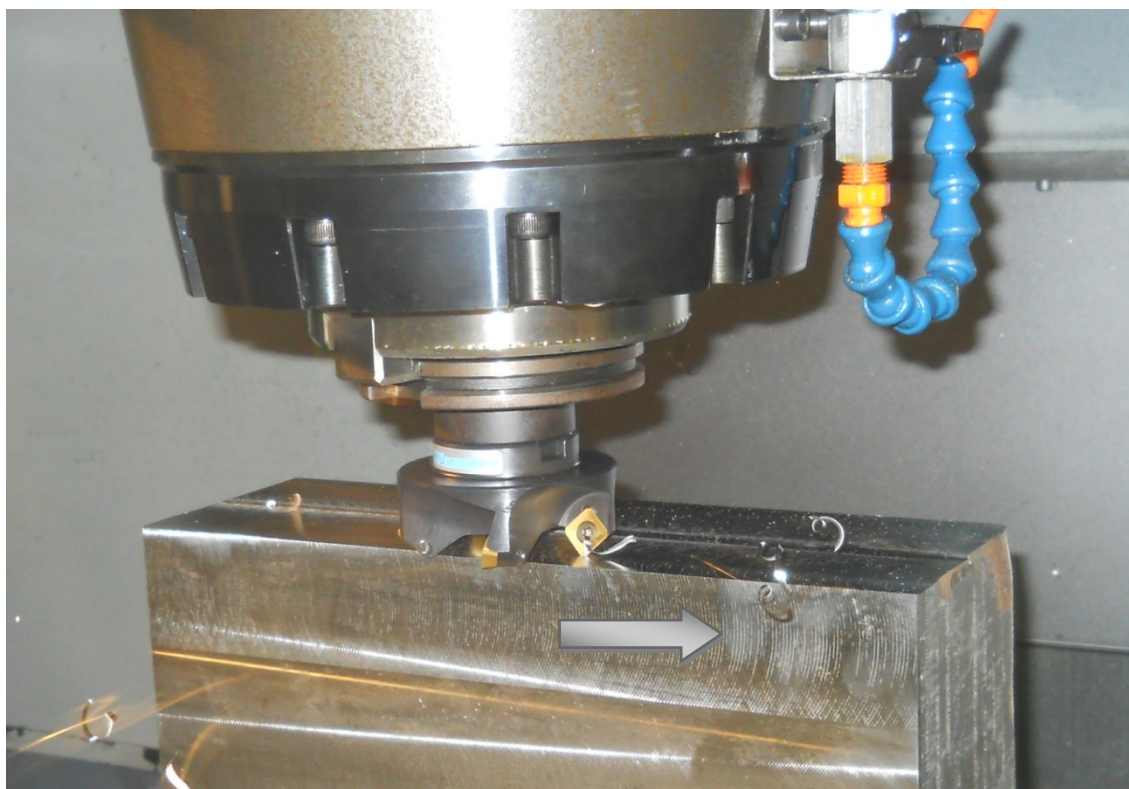
obr. 5.1 Trajektorie odchodu třísky – Mitsubishi – SEMT 13T3AGEN-JL; VP30RT



obr. 5.2 Trajektorie odchodu třísky – Seco – SEEX 1204AFTN-M14; F40M



obr. 5.3 Trajektorie odchodu třísky – Sandvik – 345R-1305E-PL; 2030



obr. 5.4 Trajektorie odchodu třísky – Pramet – SEET 1204AFSN; 8230

5.1.2 Charakteristika třísky

Výsledky řezné zkoušky z hlediska *charakteristiky třísky* (dle kapitoly 4.3.2.3) můžeme shrnout do následujících bodů:

- a) tvary třísek vzniklé při obrábění s frézami Mitsubishi (Příloha č. 4, 5, 6), které vznikly při obrábění podle řezných podmínek uvedených v tabulce 4.8, můžeme zatřídit podle členění firmy Seco Tools do skupin číslo 6 a 7,
- b) tvary třísek vzniklé při obrábění s frézami Seco (Příloha č. 7, 8, 9, 10), které vznikly při obrábění podle řezných podmínek uvedených v tabulce 4.8, můžeme zatřídit podle členění firmy Seco Tools do skupin číslo 6, 7 a 8,
- c) tvary třísek vzniklé při obrábění s frézami Sandvik (Příloha č. 11, 12), které vznikly při obrábění podle řezných podmínek uvedených v tabulce 4.8, můžeme zatřídit podle členění firmy Seco Tools do skupin číslo 8 a 9,
- d) tvary třísek vzniklé při obrábění s frézami Pramet (Příloha č. 13, 14), které vznikly při obrábění podle řezných podmínek uvedených v tabulce 4.8, můžeme zatřídit podle členění firmy Seco Tools do skupin číslo 7 a 8,
- e) z hlediska základního druhu třísky dle obrázku 4.13, můžeme všechny vzniklé třísky z fréz a destiček Mitsubishi, Seco a Pramet označit za třísky plynulé, článkovité a soudržné (obr. 4.13, písmeno a),

- f) z hlediska základního druhu třísky dle obr. 4.13, můžeme všechny vzniklé třísky z frézy Sandvik označit za třísky tvářené elementární (obr. 4.13, písmeno c),
- g) vzniklé tvary třísek z fréz a destiček Mitsubishi, Seco a Pramet vyhovují požadavkům na plynulý odchod z místa řezu a jejich tvar je velice příznivý,
- h) vzniklé tvary třísek z fréz a destiček Sandvik vyhovují požadavkům na plynulý odchod z místa řezu, nicméně jejich tvar není optimální; třísky jsou „přetvářené“.

5.1.3 Chod nástroje v řezu

Výsledky řezné zkoušky z hlediska *vlastností nástroje v řezu* (dle kapitoly 4.3.2.4) z pohledu vzniku hlučnosti, vibrací a chvění můžeme shrnout do následujících bodů:

- a) při řezných zkouškách obrábění s řeznými podmínkami dle tab. 4.8 s frézami a destičkami výrobců Mitsubishi, Seco a Pramet, můžeme konstatovat, že ke vzniku velice mírného chvění a mírných vibrací docházelo pouze, při vjezdu nástroje do obrobku a výjezdu nástroje z obrobku, při axiální hloubce řezu $a_p = 3 \text{ mm}$,
- b) projevy chvění a vibrací ustávaly vždy při záběru celé frézy (celého průměru frézy) v obrobku s ohledem na volenou hodnotu radiální hloubky řezu a_e ,
- c) při hodnotách axiální hloubky řezu $a_p = 1 \text{ mm}$ nedocházelo k vzniku chvění a vibrací, což bylo způsobeno celkově nižším mechanickým namáháním břitu a řezným odporem daným pozitivně-negativní geometrií fréz,
- d) při řezných zkouškách obrábění s řeznými podmínkami dle tab. 4.8 s frézou a destičkami výrobce Sandvik, můžeme konstatovat, že ke vzniku chvění a mírných vibrací docházelo a to nejen při vjezdu nástroje do obrobku a výjezdu nástroje z obrobku při axiální hloubce řezu $a_p = 1 \text{ mm}$ i $a_p = 3 \text{ mm}$, ale i během celého průjezdu nástroje v materiálu, což lze přisuzovat danou negativně-negativní geometrií frézy - vyšším řezným odporem,
- e) hlučnost, chvění a vibrace při vnikání a vycházení nástroje z řezu byly rovněž ovlivněny celkovou tuhostí soustavy stroj-obrobek-nástroj, kterou v pomyslné stupnici od 1 do 5 můžeme hodnotit na stupni číslo 3,
- f) vibrace a chvění v konečném důsledku ovlivnily i naměřené hodnoty drsnosti obrobené plochy R_a při vnikání a vycházení nástroje z řezu; hodnoty drsnosti

obrobené plochy proto byly měřeny uprostřed dráhy průjezdu frézy; dosažené výsledky pro jednotlivé geometrie jsou uvedeny v tabulce 5.1 a 5.2.

tab. 5.1 Dosažené hodnoty R_a při funkčních zkouškách obrábění při $a_p = 1 \text{ mm}$

Výrobce VBD	Označení VBD	Posuv na zub f_z (mm · zub ⁻¹)	Drsnost R_a (μm)
MITSUBISHI	SEET 13T3AGEN-JL; VP30RT	0,10; 0,20	0,74; 1,10
	SEMT 13T3AGSN-JM; VP30RT	0,10; 0,30	0,44; 0,40
	SEMT 13T3AGSN-JH; VP30RT	0,20; 0,40	0,46; 0,70
SECO	SEEX 1204AFTN-M14; F40M	0,15; 0,30	0,24; 0,40
	SEEX 1204AFN-M10; F40M	0,10; 0,20	0,80; 1,90
	SEMX 1204AFTN-ME12; F40M	0,10; 0,20	0,30; 0,48
	SEMX 1204AFTN-M15; F40M	0,10; 0,20	0,52; 0,70
SANDVIK	345R-1305E-PL; 2030	0,08; 0,18	0,40; 0,52
	345R-1305M-PL; 1030	0,08; 0,18	0,70; 1,70
PRAMET	SEET 1204AFSN; 8230	0,20; 0,40	0,80; 1,00
	SEEW 1204AFSN; 8230	0,15; 0,40	0,78; 1,10

tab. 5.2 Dosažené hodnoty R_a při funkčních zkouškách obrábění při $a_p = 3 \text{ mm}$

Výrobce VBD	Označení VBD	Posuv na zub f_z (mm · zub ⁻¹)	Drsnost R_a (μm)
MITSUBISHI	SEET 13T3AGEN-JL; VP30RT	0,10; 0,20	0,86; 1,30
	SEMT 13T3AGSN-JM; VP30RT	0,10; 0,30	0,44; 0,52
	SEMT 13T3AGSN-JH; VP30RT	0,20; 0,40	0,56; 0,80
SECO	SEEX 1204AFTN-M14; F40M	0,15; 0,30	0,42; 0,70
	SEEX 1204AFN-M10; F40M	0,10; 0,20	0,88; 1,50
	SEMX 1204AFTN-ME12; F40M	0,10; 0,20	0,40; 0,80
	SEMX 1204AFTN-M15; F40M	0,10; 0,20	0,52; 0,48
SANDVIK	345R-1305E-PL; 2030	0,08; 0,18	0,30; 0,32
	345R-1305M-PL; 1030	0,08; 0,18	0,60; 0,62
PRAMET	SEET 1204AFSN; 8230	0,20; 0,40	0,80; 1,00
	SEEW 1204AFSN; 8230	0,15; 0,40	0,90; 1,80

5.1.4 Rozsah posuvů na zub f_z

Výsledky řezné zkoušky z hlediska *rozsahu posuvů na zub f_z* (dle kapitoly 4.3.2.5) můžeme shrnout do následujících bodů:

- a) při řezných zkouškách obrábění s řeznými podmínkami dle tab. 4.8 s frézami a destičkami výrobců Mitsubishi, Seco, Sandvik a Pramet, můžeme konstatovat, že doporučený rozsah posuvů na zub f_z , je možné použít,
- b) byly odzkoušeny vždy posuvy na zub minimální $f_{z\min}$ a posuvy na zub maximální $f_{z\max}$ pro jednotlivé geometrie VBD stanovené výrobcí,
- c) z důvodu rozdílných rozsahu doporučených posuvů pro jednotlivé typy destiček, byly tyto destičky rozděleny do dvou základních skupin z hlediska charakteru řezání – frézování,
- d) první skupinu destiček tvoří destičky určené pro oblast tzv. lehkých řezů, charakteristické posuvem na zub $f_z = 0,15 \text{ mm} \cdot \text{zub}^{-1}$, druhou skupinu tvoří destičky určené pro oblast tzv. středních až polohrubovacích řezů charakteristické posuvem na zub $f_z = 0,25 \text{ mm} \cdot \text{zub}^{-1}$,
- e) obě skupiny destiček z bodu d) byly podrobeny porovnávacím zkouškám obrábění na zjištění trvanlivosti řezné hrany.

5.1.5 Axiální hloubka řezu $a_{p\max}$

Výsledky řezné zkoušky z hlediska *axiální hloubky řezu $a_{p\max}$* (dle kapitoly 4.3.2.6) můžeme shrnout do následujících bodů:

- a) při řezných zkouškách obrábění s řeznými podmínkami dle tab. 4.8 s frézami a destičkami výrobců Mitsubishi, Seco, Sandvik a Pramet, můžeme konstatovat, že nebylo provedeno ověření schopnosti korozivzdornou ocel jakosti 17 349.4 až do maximální axiální hloubky řezu $a_{p\max}$,
- b) v rámci funkčních zkoušek byly frézy prověřeny při axiálních hloubkách řezů $a_p = 1 \text{ mm}$ a $a_p = 3 \text{ mm}$;
- c) výrobce fréz Mitsubishi doporučuje pro námi testovaný typ frézy ASX 445, maximální hloubku řezu $a_{p\max} = 6 \text{ mm}$,
- d) výrobce fréz Seco doporučuje pro námi testovaný typ frézy R220.53-12, maximální hloubku řezu $a_{p\max} = 6 \text{ mm}$,

- e) výrobce fréz Sandvik doporučuje pro námi testovaný typ frézy 345, maximální hloubku řezu $a_{p \max} = 6 \text{ mm}$,
- f) výrobce fréz Pramet doporučuje pro námi testovaný typ frézy S45SE12F-A, maximální hloubku řezu $a_{p \max} = 6,5 \text{ mm}$,
- g) maximální hloubky řezů $a_{p \max}$ jsou reálné pro obrábění materiálů skupiny P podle normy ISO 513, ale nereálné pro skupinu M; lze obecně doporučit, aby maximální hloubka řezu $a_{p \max}$ byla o 15 % až 20 % nižší,
- h) největším důležitějším aspektem při obrábění při jednotlivých axiálních hloubkách řezu třísky a_p je tuhost upnutí obrobku, respektive tuhost celé soustavy stroj-obrobek-nástroj, ale především jakost obráběného materiálu,
- i) výkon na vřetení frézky není rozhodujícím faktorem pro použití frézy při obrábění s maximální hloubkou třísky $a_{p \max} = 10 \text{ mm}$,
- j) záběrové podmínky především z hlediska poměru radiální hloubky řezu a_e a použitého průměru D je nutno volit tak, aby co nejméně mohl tento poměr ovlivnit použití nástroje při obrábění s maximální hloubkou třísky $a_{p \max} = 10 \text{ mm}$,
- k) dobré záběrové podmínky spolu s dostatečnou tuhostí upnutí obrobku ovlivňují výslednou jakost obrobené plochy R_a ,
- l) nevhodné záběrové podmínky (poměr a_e/D a poloha obrobku vůči ose nástroje) které se objevují obzvláště při vnikání a výjezdu nástroje do a z obrobku, ovlivňují silové poměry při frézování a tím napomáhají ke vzniku chvění a vibrací a dochází tak ke zhoršení jakosti obrobené plochy R_a .

5.2 Zkoušky trvanlivosti obrábění

Výsledky řezných zkoušek *na zkoušky trvanlivosti* (dle kapitoly 4.3.3) můžeme shrnout do následujících bodů:

- a) ze souboru řezných zkoušek s destičkami skupiny A, podle řezných podmínek uvedených v tabulce 4.9 byly získány výsledky trvanlivostí (tab 5.3),
- b) nejlepších výsledků trvanlivosti při daných řezných podmínkách dosáhly destičky Seco (SEEX 1204AFN-M10) a Mitsubishi (SEET 13T3AGEN-JL),

- c) nejhoršího výsledku trvanlivosti dosáhli destičky Sandvik, u kterých můžeme konstatovat, že jeho geometrie není optimální pro obrábění korozivzdorných ocelí, i když je pro tuto oblast obrábění jimi doporučována,
- d) hodnoty řezivosti K byly v rámci výsledků zkoušky trvanlivosti vztaženy k současnému provedení a geometrii destičky Pramet (SEEW 1204AFSN),
- e) hodnoty řezivosti K jsou počítány k průměrné hodnotě trvanlivosti $\bar{\phi T}$ a vykazují rozptyl Δ ,

tab. 5.3 Výsledky trvanlivostní zkoušky pro destičky skupiny A ($f_z = 0,15 \text{ mm} \cdot \text{zub}^{-1}$)

Řezné podmínky	Průměr frézy	63 mm	Počet VBD ve fríze	1 ks		
Řezná rychlost	$v_c = 150 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$		Obráběná délka	300 mm		
Otáčky vřetene	$n = 758 \text{ min}^{-1}$		Povrchová kůra	Ne		
Posuv	$f_{\min} = 114 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$		Přerušovaný řez	Ne		
Axiální hloubka řezu	$a_p = 2 \text{ mm}$		Chladicí kapalina	Ne		
Radiální hloubka řezu	$a_e = 50 \text{ mm}$		Čas záběru	2,6 min		
Výrobce VBD	Označení VBD	Vzorek	$T \text{ (min)}$	$\bar{\phi T} \text{ (min)}$	$K \text{ (}\%)$	$\Delta \text{ (}\%)$
PRAMET	SEEW 1204AFSN; 8230	A3	18,2	19,5	100	6,7
		A5	20,8			
SECO	SEEX 1204AFN-M10; F40M	B3	44,2	45,5	233	2,9
		B5	46,8			
SECO	SEMX 1204AFTN-ME12; F40M	J3	26,0	26,0	133	-
		J5	26,0			
MITSUBISHI	SEET 13T3AGEN-JL; VP30RT	C2	46,8	44,2	227	5,9
		C4	41,6			
SANDVIK	345R-1305E-PL; 2030	D1	5,2	9,1	47	42,9
		D3	13,0			

- f) ze souboru řezných zkoušek s destičkami skupiny B, podle řezných podmínek uvedených v tabulce 4.10 byly získány výsledky trvanlivostí uvedené v tabulce 5.4.,






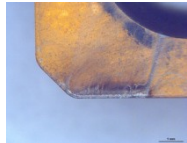

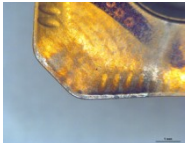
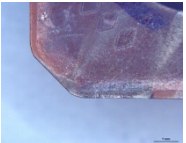
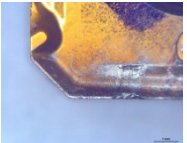


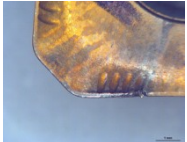

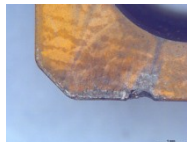

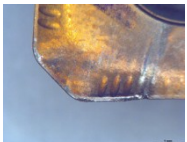

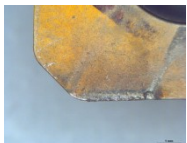






tab. 5.4 Výsledky zkoušky trvanlivosti pro destičky skupiny B ($f_z = 0,25 \text{ mm} \cdot \text{zub}^{-1}$)

Řezné podmínky	Průměr frézy	63 mm	Počet VBD ve fréze	1 ks		
Řezná rychlost	$v_c = 140 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$		Obráběná délka	600 mm		
Otáčky vřetene	$n = 707 \text{ min}^{-1}$		Povrchová kůra	Ne		
Posuv	$f_{\text{min}} = 177 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$		Přerušovaný řez	Ne		
Axiální hloubka řezu	$a_p = 2 \text{ mm}$		Chladicí kapalina	Ne		
Radiální hloubka řezu	$a_e = 50 \text{ mm}$		Čas záběru	3,4 min		
Výrobce VBD	Označení VBD	Vzorek	T (min)	ØT (min)	K (%)	Δ (%)
PRAMET	SEET 1204AFSN; 8230	E1	13,6	11,9	100	14,3
		E3	10,2			
SECO	SEEX 1204AFTN-M14; F40M	F2	13,6	13,6	114	-
		F5	13,6			
SECO	SEMX 1204AFTN-M15; F40M	G2	23,8	22,1	186	7,7
		G4	20,4			
MITSUBISHI	SEMT 13T3AGSN-JM; VP30RT	H2	40,8	39,1	329	4,3
		H5	37,4			
MITSUBISHI	SEMT 13T3AGSN-JH; VP30RT	I1	20,4	20,4	171	-
		I4	20,4			






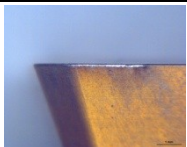
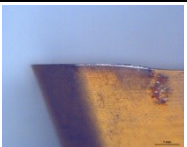



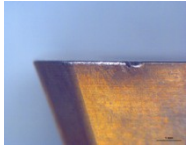
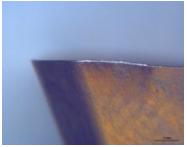
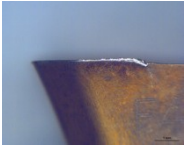
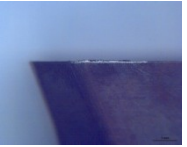
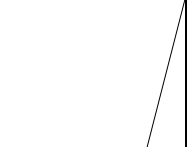
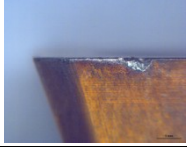
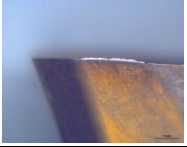
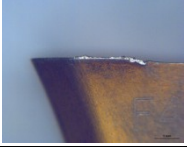
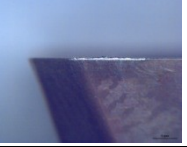
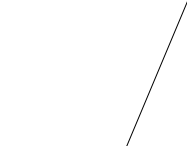
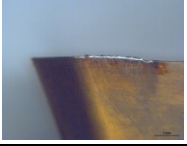

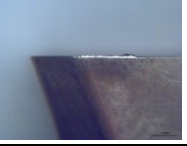
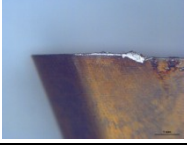
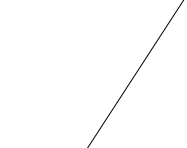
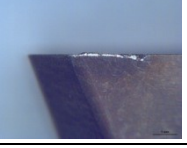
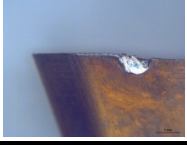
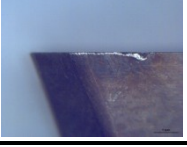
- g) nejlepších výsledků trvanlivosti při daných řezných podmínkách dosáhly s převahou destičky Mitsubishi (SEMT 13T3AGSN-JM),
- h) nejhoršího výsledku trvanlivosti dosáhli destičky Pramet (SEET 1204AFSN), u kterých můžeme konstatovat, že tato geometrie není optimální pro obrábění korozivzdorných ocelí, i když je tato oblast obrábění doporučována,
- i) hodnoty řezivosti K byly v rámci výsledků zkoušky trvanlivosti vztaženy k současnému provedení a geometrii destičky Pramet (SEET 1204AFSN),
- j) hodnoty řezivosti K jsou počítány k průměrné hodnotě trvanlivosti $\bar{\Delta T}$ a vykazují rozptyl Δ ,
- k) v průběhu řezných zkoušek s destičkami skupiny A byly průběžně pořizovány snímky vzrůstajícího opotřebení na čele a hřbetě destičky; pro naše účely byly snímky pořizovány pouze na jednom ze zkoušených vzorků,
- l) v tabulce 5.5 jsou znázorněny snímky čelních ploch (čel) zkoušených destiček s přibývajícím růstem opotřebení v příslušné minutě od počátku řezné zkoušky,

m) v tabulce 5.6 jsou znázorněny snímky hřbetních ploch (hřbetů) zkoušených destiček s přibývajícím růstem opotřebení v příslušné minutě od počátku řezné zkoušky,

tab. 5.5 Průběh opotřebení na čele destiček - skupina A ($f_z = 0,15 \text{ mm} \cdot \text{zub}^{-1}$)






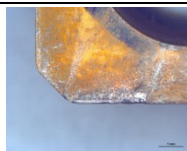


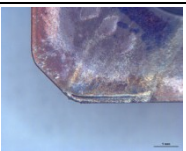
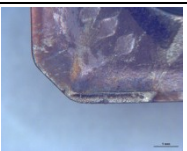
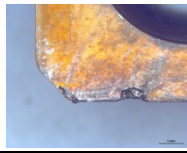

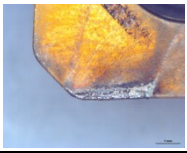
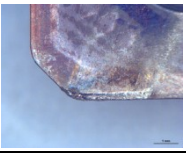
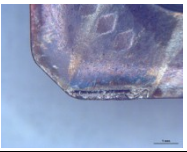
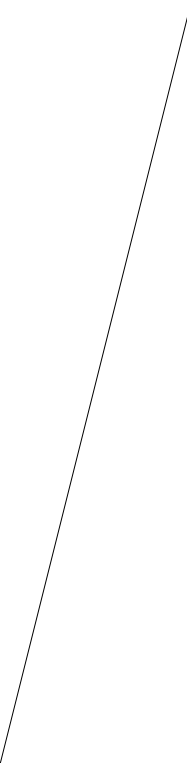
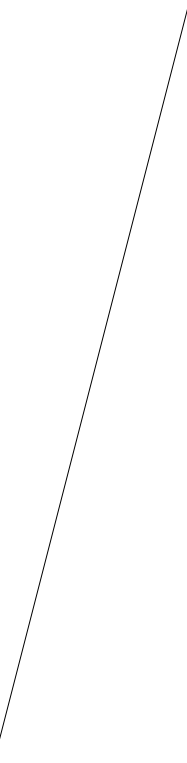
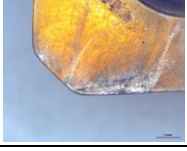
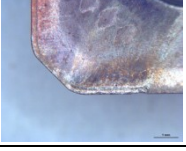
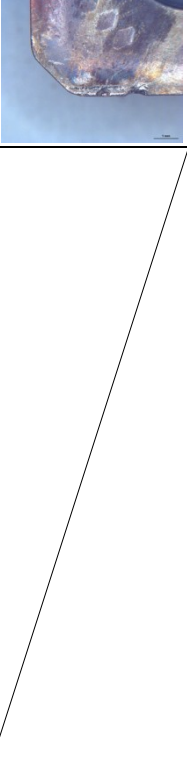
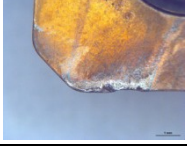

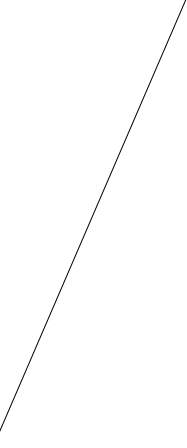
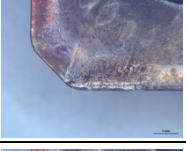
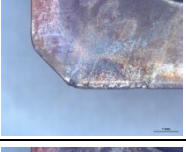
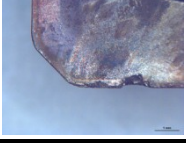
Výrobce	PRAMET 	SECO 	SECO 	MITSUBISHI 	SANDVIK 
Označení	SEEW 1204AFSN ; 8230	SEEX 1204AFN- M10; F40M	SEMX 1204AFTN -ME12; F40M	SEET 13T3AGEN- JL; VP30RT	345R-1305E- PL; 2030
Vzorek	A3	B3	J3	C2	D1
5 minuta					
16 minuta					
21 minuta					
31 minuta					
42 minuta					
47 minuta					

tab. 5.6 Průběh opotřebení na hřbetě destiček - skupina A ($f_z = 0,15 \text{ mm} \cdot \text{zub}^{-1}$)






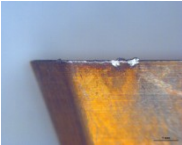
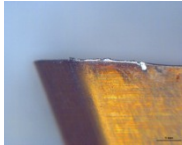
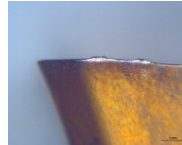
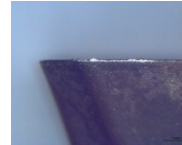
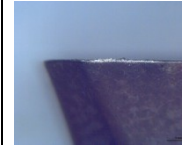
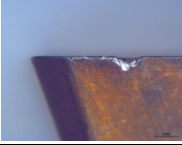
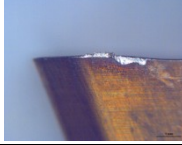
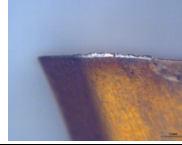
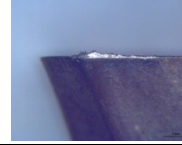
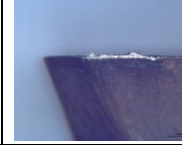
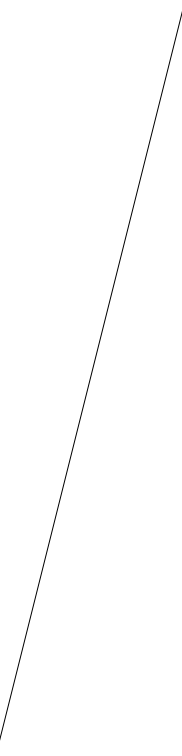
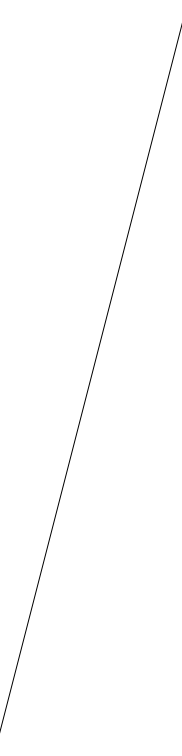
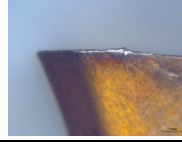
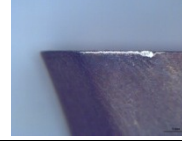
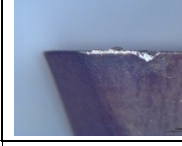
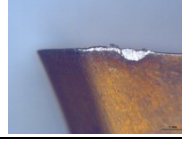
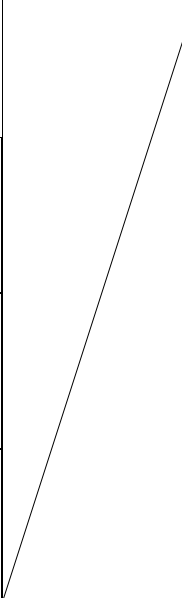
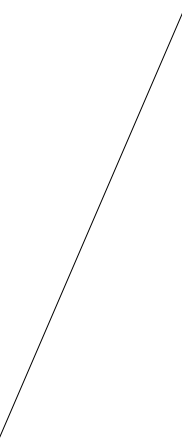
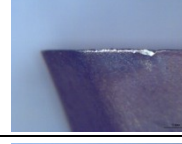
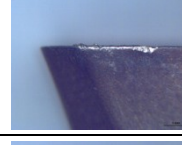
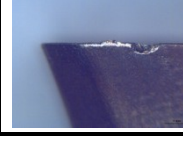
Výrobce	PRAMET 	SECO 	SECO 	MITSUBISHI 	SANDVIK 
Označení	SEEW 1204AFSN ; 8230	SEEX 1204AFN- M10; F40M	SEMX 1204AFTN -ME12; F40M	SEET 13T3AGEN- JL; VP30RT	345R-1305E- PL; 2030
Vzorek	A3	B3	J3	C2	D1
5 minuta					
16 minuta					
21 minuta					
31 minuta					
42 minuta					
47 minuta					

- n) v průběhu řezných zkoušek s destičkami skupiny B byly opět průběžně pořizovány snímky vzrůstajícího opotřebení na čele a hřbetě destičky; pro naše účely byly snímky pořizovány pouze na jednom ze zkoušených vzorků,
- o) v tabulce 5.7 jsou znázorněny snímky čelních ploch (čel) zkoušených destiček s přibývajícím růstem opotřebení v příslušné minutě od počátku řezné zkoušky,
- p) v tabulce 5.8 jsou znázorněny snímky hřbetních ploch (hřbetů) zkoušených destiček s přibývajícím růstem opotřebení v příslušné minutě od počátku řezné zkoušky,

tab. 5.7 Průběh opotřebení na čele destiček - skupina B ($f_z = 0,25 \text{ mm} \cdot \text{zub}^{-1}$)

Výrobce	PRAMET 	SECO 	SECO 	MITSUBISHI 	MITSUBISHI 
Označení	SEET 1204AFSN; 8230	SEEX 1204AFTN- M14; F40M	SEMX 1204AFTN -M15; F40M	SEMT 13T3AGS N-JM; VP30RT	SEMT 13T3AGS N-JH; VP30RT
Vzorek	E1	F2	G2	H2	I1
7 minuta					
14 minuta					
20 minuta					
24 minuta					
27 minuta					
34 minuta					
41 minuta					

tab. 5.8 Průběh opotřebení na hřbetě destiček - skupina B ($f_z = 0,25 \text{ mm} \cdot \text{zub}^{-1}$)

Výrobce	PRAMET 	SECO 	SECO 	MITSUBISHI 	MITSUBISHI 
Označení	SEET 1204AFSN; 8230	SEEX 1204AFTN- M14; F40M	SEMX 1204AFTN -M15; F40M	SEMT 13T3AGS N-JM; VP30RT	SEMT 13T3AGS N-JH; VP30RT
Vzorek	E1	F2	G2	H2	I1
7 minuta					
14 minuta					
20 minuta					
24 minuta				-	
27 minuta					
34 minuta					
41 minuta					

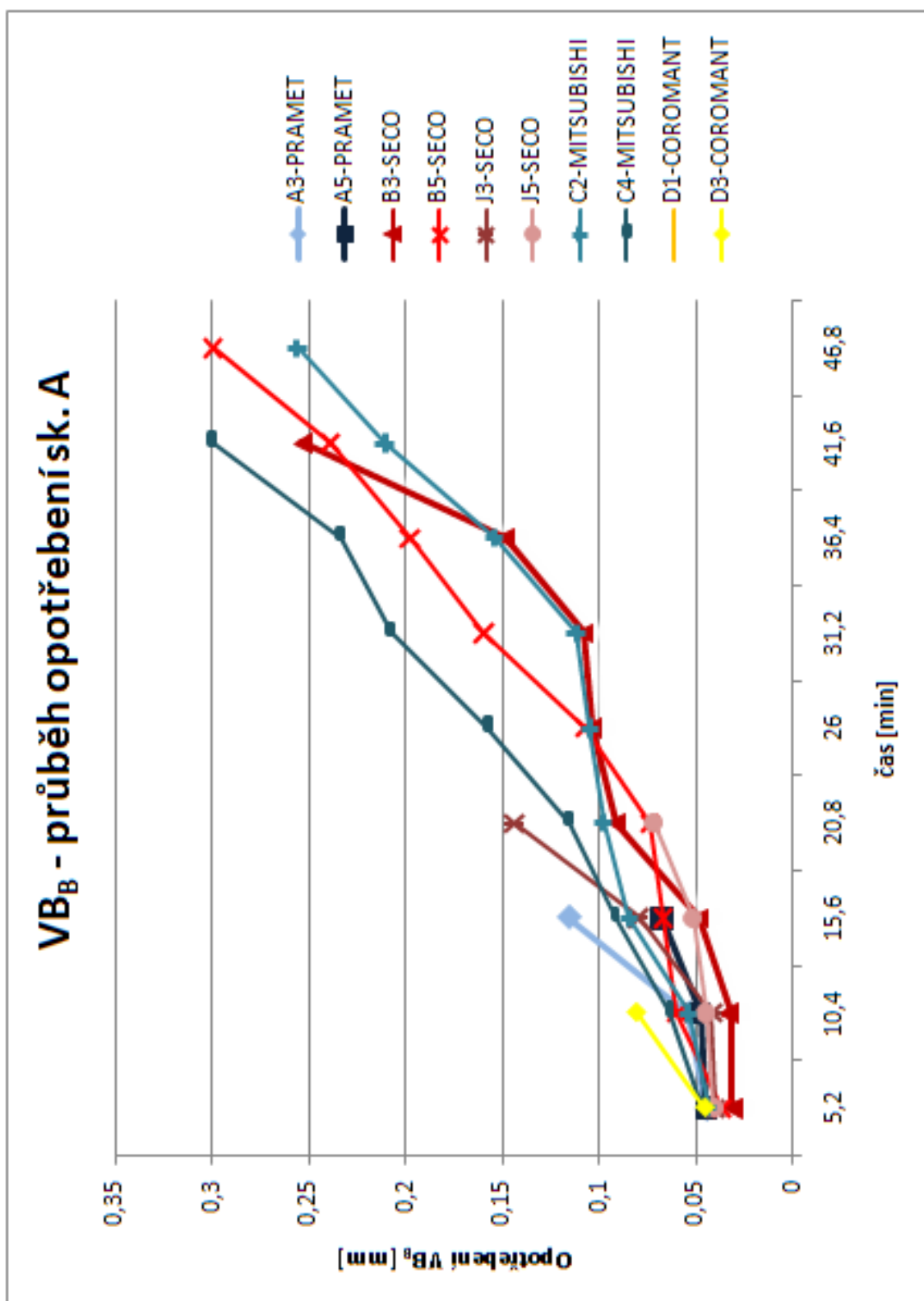
- q) během zkoušek obrábění na trvanlivost obou skupin destiček (A, B), byly měřeny v pravidelných časových intervalech na zkoušených destičkách míry opotřebení hlavního břitu VB_B a míry opotřebení hlavního břitu na špičce destičky VB_{C1} ,
- r) naměřené hodnoty opotřebení pro destičky skupiny A jsou uvedeny v tabulce 5.9 a graficky znázorněny v grafu 5.1,
- s) naměřené hodnoty opotřebení pro destičky skupiny B jsou uvedeny v tabulce 5.10 a graficky znázorněny v grafu 5.2,

tab. 5.9 Naměřené hodnoty opotřeбені u destiček skupiny A

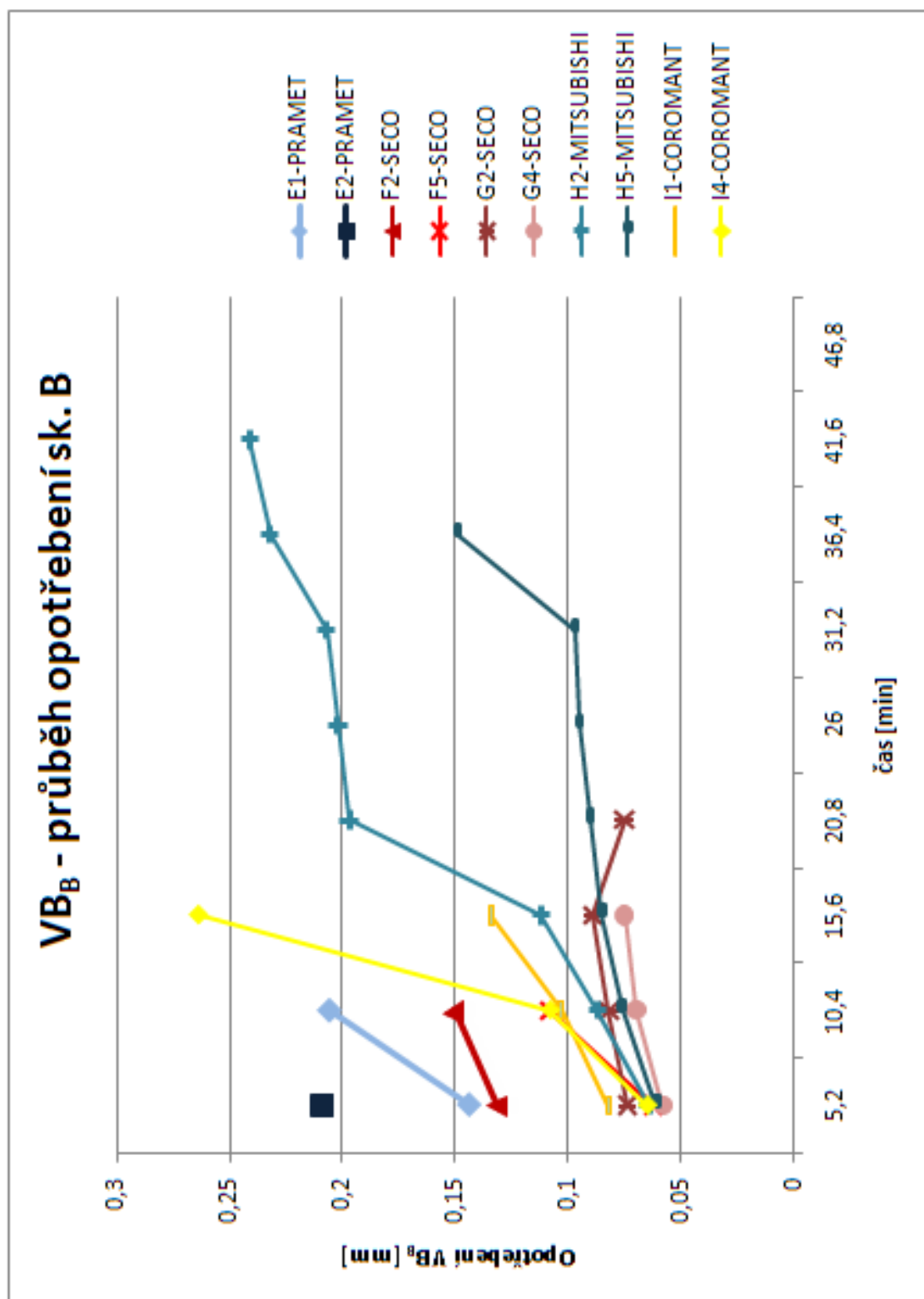
Výrobce	Označení	Vzorek	Kritérium (mm)	Trvanlivost <i>T</i> (min)								
				5,2	10,4	15,6	20,8	26,0	31,2	36,4	41,6	46,8
PRAMET	SEEW1204AFSN; 8230	A3	<i>VB</i> _B	0,043	0,054	0,116	-	-	-	-	-	-
			<i>VB</i> _{C1}	0,043	0,045	0,048	0,056	-	-	-	-	-
		A5	<i>VB</i> _B	0,045	0,048	0,068	-	-	-	-	-	-
			<i>VB</i> _{C1}	0,045	0,048	0,070	0,096	-	-	-	-	-
SECO	SEEX1204AFN- M10; F40M	B3	<i>VB</i> _B	0,032	0,034	0,049	0,092	0,104	0,109	0,149	0,254	-
			<i>VB</i> _{C1}	0,025	0,028	0,037	0,040	0,043	0,045	0,048	0,050	0,074
		B5	<i>VB</i> _B	0,037	0,060	0,067	0,074	0,108	0,160	0,198	0,239	0,300
			<i>VB</i> _{C1}	0,032	0,039	0,042	0,044	0,046	0,048	0,050	0,052	-
SECO	SEMX1204AFTN- ME12; F40M	J3	<i>VB</i> _B	0,040	0,042	0,080	0,144	-	-	-	-	-
			<i>VB</i> _{C1}	0,040	0,043	0,045	0,060	0,062	-	-	-	-
		J5	<i>VB</i> _B	0,041	0,045	0,052	0,072	-	-	-	-	-
			<i>VB</i> _{C1}	0,031	0,038	0,044	0,046	0,048	-	-	-	-
MITSUBISHI	SEET13T3AGEN- JL; VP30RT	C2	<i>VB</i> _B	0,044	0,054	0,085	0,098	0,105	0,112	0,154	0,211	0,256
			<i>VB</i> _{C1}	0,028	0,030	0,032	0,036	0,067	0,069	0,072	0,074	0,077
		C4	<i>VB</i> _B	0,047	0,064	0,092	0,116	0,158	0,208	0,234	0,300	-
			<i>VB</i> _{C1}	0,029	0,031	0,032	0,033	0,035	0,036	0,043	0,052	-
COROMANT	345R-1305E-PL; 2030	D1	<i>VB</i> _B	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			<i>VB</i> _{C1}	0,026	-	-	-	-	-	-	-	-
		D3	<i>VB</i> _B	0,046	0,081	-	-	-	-	-	-	-
			<i>VB</i> _{C1}	0,046	0,051	0,054	-	-	-	-	-	-

tab. 5.10 Naměřené hodnoty opotřebení u destiček skupiny B

Výrobce	Označení	Vzorek	Kritérium (mm)	Trvanlivost <i>T</i> (min)								
				6,8	10,2	13,6	20,4	23,8	27,2	34,0	37,4	40,8
PRAMET	SEET 1204AFSN; 8230	E1	VB _B	0,144	0,206	-	-	-	-	-	-	-
			VB _{C1}	0,042	0,058	0,115	-	-	-	-	-	-
		E3	VB _B	0,209	-	-	-	-	-	-	-	-
			VB _{C1}	0,042	0,107	-	-	-	-	-	-	-
SECO	SEEX 1204AFN- M14; F40M	F2	VB _B	0,132	0,151	-	-	-	-	-	-	-
			VB _{C1}	0,052	0,072	0,094	-	-	-	-	-	-
		F5	VB _B	0,062	0,108	-	-	-	-	-	-	-
			VB _{C1}	0,052	0,059	0,064	-	-	-	-	-	-
SECO	SEMX 1204AFN -M15; F40M	G2	VB _B	0,074	0,082	0,089	0,075	-	-	-	-	-
			VB _{C1}	0,042	0,047	0,059	0,064	0,101	-	-	-	-
		G4	VB _B	0,058	0,070	0,075	-	-	-	-	-	-
			VB _{C1}	0,066	0,075	0,080	0,112	-	-	-	-	-
MITSUBISHI	SEMT 13T3AGSN -JM; VP30RT	H2	VB _B	0,064	0,087	0,112	0,197	0,202	0,207	0,232	0,241	-
			VB _{C1}	0,066	0,074	0,080	0,086	0,088	0,090	0,109	0,114	0,117
		H5	VB _B	0,061	0,076	0,085	0,090	0,095	0,097	0,149	-	-
			VB _{C1}	0,064	0,067	0,071	0,072	0,076	0,081	0,088	0,231	-
MITSUBISHI	SEMT 13T3AGSN -JH; VP30RT	I1	VB _B	0,082	0,103	0,134	-	-	-	-	-	-
			VB _{C1}	0,080	0,083	0,089	0,094	-	-	-	-	-
		I4	VB _B	0,065	0,108	0,264	-	-	-	-	-	-
			VB _{C1}	0,073	0,077	0,082	0,094	-	-	-	-	-



graf 5.1 Průběh opotřebení destiček skupiny A



graf 5.2 Průběh opotřebení destiček skupiny B

5.3 Návrh řešení konstrukce nástroje

Z výsledků celého rozsahu funkčních zkoušek a řezných zkoušek trvanlivosti na zkušebně obrábění Pramet, můžeme navrhnout následující řešení nové konstrukce nástroje pro obrábění korozivzdorných materiálů (skupiny materiálu M podle ISO 513).

5.3.1 Konstrukce frézy

Návrhy řešení nové konstrukce frézy můžeme rozdělit do následujících bodů:

- a) návrh geometrie frézy,
- b) návrh technického provedení frézy,
- c) návrh výchozího sortimentu fréz.

ad a) Konstrukce frézy z pohledu geometrie by měla být jednoznačně pozitivně-negativní s axiálním úhlem čela lůžka γ_p v rozsahu 19° až 21° do pozitivu (znaménko plus); s radiálním úhlem čela lůžka γ_f v rozsahu 5° až 8° do negativu (znaménko mínus) s úhlem nastavení $\kappa_r = 45^\circ$:

Příklad označení geometrie frézy: $+20^\circ / -7^\circ$

ad b) Konstrukce frézy z pohledu technického provedení by měla být řešena jako celistvý nástrčný typ s drážkou pro pero se standardním způsobem upínání. Upnutí do vřetena frézky s pomocí centrálního upínacího šroubu s vnitřním šestihranem. Fréza by měla být řešena s povrchovou úpravou niklováním. Předností niklu je jeho vysoká povrchová tvrdost (až 550 HB), která se využívá jako odolnost proti otěru a fréza je tak chráněná od odchozích třísek obráběného materiálu. Niklovaný povrch má rovněž i nízkou hodnotu drsnosti povrchu R_a . Poniklované frézy patří mezi běžný vyšší standard z hlediska designu. Opěrné podložky z SK jsou dobrou volbou pro ochranu tělesa frézy v případě poškození a vyštípnutí destičky během frézování a proto je lze doporučit. Detail technického řešení konstrukce frézy s opěrnými podložkami u frézy Mitsubishi typ ASX445 je uveden na obrázku 5.16.



obr. 5.5 Konstrukční řešení zubů frézy s opěrnými podložkami pod VBD

ad c) Konstrukce fréz z pohledu sortimentu a počtu zubů by měl být stanoven podle podkladů marketingové analýzy a průzkumu trhu. V případě srovnání s konkurenčními řešeními lze doporučit výchozí sortiment fréz, který je uveden v tabulce 5.11.

tab. 5.11 Návrh sortimentu fréz

Počet zubů z (-) / Průměr frézy D (mm)								
Ø40	Ø50	Ø63	Ø80	Ø100	Ø125	Ø160	Ø200	Ø250
-	4 a 5	5 a 6	6 a 8	7 a 10	8 a 12	10 a 16	12 a 20	14 a 24

5.3.2 Konstrukce destičky

Návrhy řešení nové konstrukce destičky můžeme rozdělit do následujících bodů:

- návrh sortimentu destiček,
- návrh geometrie destiček,
- návrh technického provedení destiček.

ad a) Pro pokrytí širokého rozsahu posuvů na zub (od hodnoty posuvu na zub $f_z = 0,10 \text{ mm} \cdot \text{zub}^{-1}$ až po hodnotu posuvu na zub $f_z = 0,40 \text{ mm} \cdot \text{zub}^{-1}$) je nezbytné zahrnout do sortimentu minimálně dva základní typy destiček:

- první destička ze sortimentu, by měla být schopna pokrýt rozsah posuvů na zub f_z v intervalu od 0,10 do 0,20 $\text{mm} \cdot \text{zub}^{-1}$. Tato oblast obrábění je typická pro tzv. lehkého frézování, dokončování,
- druhá destička v sortimentu by měla být určená pro rozsah posuvů na zub f_z v intervalu od 0,20 do 0,40 $\text{mm} \cdot \text{zub}^{-1}$ pro hrubování.

Pokrytí celého rozsahu posuvů jednou destičkou je vzhledem k specifiku obráběné skupiny materiálů M, nemožné. S přihlédnutím na konkurenční řešení je konkurence rovněž vybavena několika typy destiček pro dané rozsahy posuvů.

ad b) Pro oblast posuvů na zub $f_z = 0,10$ až $0,20 \text{ mm} \cdot \text{zub}^{-1}$ je vhodné použít destičku:

- s geometrií s úhlem hřbetu 20° - 26° , úhlem čela 5° - 7° a čelní fazetkou o šířce $t = 0,12$ až $0,15 \text{ mm}$ se skolen 20° do negativu.

Pro oblast posuvů na zub $f_z = 0,20$ až $0,40 \text{ mm} \cdot \text{zub}^{-1}$ je vhodné použít destičku:

- s geometrií s úhlem hřbetu opět v rozmezí 20° - 26° , úhlem čela 5° - 7° a čelní fazetkou o šířce $t = 0,18$ až $0,20 \text{ mm}$ se skolen 20° do negativu

ad c) Ze souboru řezných zkoušek s destičkami skupiny A i B, dosáhly nejlepších výsledků destičky v provedení jako „celobroušené“, a to pro oblast posuvů na zub $f_z = 0,10$ až $0,20 \text{ mm} \cdot \text{zub}^{-1}$ (označení destiček SEEX a SEET). Pro oblast posuvů na zub $f_z = 0,20$ až $0,40 \text{ mm} \cdot \text{zub}^{-1}$ je vhodné použít destičky v provedení „přímolisovaném“. Tento typ destičky má všechny geometrické tvary včetně fazetek nebroušené – „přímolisované“. U destiček „celobroušených“ se provádí broušení jak obvodových ploch na destičce, tak fazetek.

tab. 5.12 Návrh sortimentu destiček

Označení VBD (ISO)	Rozsah posuvů na zub $f_z (\text{mm} \cdot \text{zub}^{-1})$	Technické provedení
SEET 1304AFTN	0,10 – 0,20	celobroušená destička
SEMT 1304AFTN	0,20 – 0,40	přímolisovaná destička

6 Závěr

Cílem diplomové práce bylo rovinné frézování korozivzdorných ocelí z hlediska porovnání současného řešení konstrukce nástroje (výrobce Pramet Tools, s.r.o. Šumperk) s vytipovanými konkurenčními nástroji na domácím trhu. Z dosažených výsledků diplomové práce vyplývají následující závěry:

- a) Analýza průzkumu trhu konkurenčních řešení pro frézování materiálů v oblasti korozivzdorných ocelí potvrdila, že své významné postavení na trhu zauímají nástroje firem Mitsubishi Materials, Seco Tools a Sandvik Coromant.
- b) Stávající konstrukční řešení nástrojů Pramet, s typovým označením S45SE12F-A, jmenovitě fréza typu 60A05R-S45SE12F-A je již generačně zastaralá a nevyhovuje současným požadavkům zákazníků kladeným na užité vlastnosti, produktivitu, životnost a šíři velikosti sortimentu z hlediska velikosti počtu zubů.
- c) Stávající konstrukční řešení nástrojů Mitsubishi Materials, s typovým označením ASX445, jmenovitě fréza typu ASX445-063A05R představuje ve spojení s dodávaným sortimentem VBD vysoce progresivní a moderní řešení nástroje pro oblast obrábění korozivzdorných ocelí.
- d) Stávající konstrukční řešení nástrojů Seco Tools, s typovým označením R220.53-12, jmenovitě fréza typu R220-53-0063-12-5A představuje rovněž vysoce moderní řešení pro oblast obrábění korozivzdorných ocelí a z hlediska sortimentu nabízených destiček patří mezi největší na trhu.
- e) Stávající konstrukční řešení nástrojů Sandvik Comomant, s typovým označením 345, jmenovitě fréza typu 345-063Q22-13M představuje ve spojení s dodávaným sortimentem VBD nové řešení v konstrukci nástroje, které používá oboustranný typ VBD a zvyšuje tak počet řezných hran na 8.
- f) Experimentálními zkouškami obrábění na zkušebně Pramet byly podrobeny nástroje uváděné v bodech b, c, d a e. Zkoušky obrábění byly rozděleny na dvě kapitoly, první se týkala funkčních zkoušek obrábění, druhá zkoušek obrábění na dosaženou trvanlivost za konkrétních řezných podmínek.
- g) Funkční zkoušky obrábění potvrdily vysokou úroveň konstrukčního řešení u fréz výrobců Mitsubishi Materials (typ frézy ASX445) a Seco Tools (typ frézy R220.53-12). Zkoušené frézy obou výrobců s doporučeným sortimentem VBD, vykazovali velmi dobré vlastnosti obrábění z hlediska způsobu utváření třísky,

jejího vzhledu, tvaru a velikosti třísky, a dále z hlediska trajektorie odchodu třísky z místa řezu a celkového chodu nástroje v řezu. Vysoká úroveň funkčních vlastností nástrojů byla potvrzena při trvanlivostních zkouškách obrábění, kde tyto frézy v kombinaci s doporučenými destičkami dosáhli vynikajících výsledků obrábění na trvanlivost.

- h) Funkční zkoušky obrábění s frézou od výrobce Sandvik Coromant (typ frézy 345) s doporučenými VBD typu 345R-1305M-PL a 345R-1305E-PL, nepotvrdil vhodnost použití tohoto nástroje pro obrábění korozivzdorné oceli, i když tento nástroj výrobce doporučuje a má pro ně stanoveny doporučené řezné podmínky. Dosažené výsledky funkčních zkoušek byly průměrné a zkoušky obrábění na dosažení trvanlivosti zcela nedostatečné. Utváření třísky bylo tvrdé, vzhledově byla tříska „přetvářená“, tvar a velikost třísky odpovídal charakteru geometrie frézy (negativně-negativní). Chod nástroje v řezu byl celkově horší v porovnání s frézami od Mitsubishi ASX445 a Seco R220.53-12.
- i) Funkční zkoušky obrábění s frézou Pramet (typ S45SE12F-A) potvrdily nízkou úroveň tohoto konstrukčního řešení. Testovaný typ frézy 63A05R s doporučenými destičkami SEET 1204AFSN a SEEW 1204AFSN, vykazoval dobré vlastnosti obrábění z hlediska způsobu utváření třísky, jejího vzhledu, tvaru, velikosti a trajektorie odchodu třísky z místa řezu a celkového chodu nástroje v řezu. V rámci zkoušek obrábění na trvanlivost však byly potvrzeny nízké užité vlastnosti nástroje ve spojení s doporučenými VBD. Nízké užité vlastnosti se projeví v dosažených časech trvanlivosti a lze je hodnotit jako nedostatečné a velice nízké, při obrábění korozivzdorné oceli.
- j) Z experimentálních zkoušek obrábění a jich dosažených výsledků bylo potvrzeno, že nejlepší řešení pro oblast frézování korozivzdorných ocelí nabízí firmy Mitsubishi Materials (typ fréz ASX445) a Seco Tools (typ fréz R220.53-12). Shodná geometrie fréz (pozitivně-negativní), jednotlivé typy destiček z hlediska konstrukce, provedení a geometrie (celobroušené pro nízké f_z , přímolisované pro vyšší f_z), jsou na vysoké úrovni a lze je doporučit pro návrhová řešení nového sortimentu fréz pro oblast obrábění skupiny materiálů M pro Pramet Tools, s.r.o. Šumperk.

7 Použitá literatura

- [1] *Korozivzdorné oceli – vlastnosti*. Lucemburskou: Euro Inox, 2002. 28 s. ISBN 2-87997-082-2
- [2] URL <<http://ateam.zcu.cz/metalografie.html>> [cit. 2011-5-4]
- [3] URL <<http://www.nerezovesrouby.cz/slovník/nerezavejici-ocel/>> [cit. 2011-4-20]
- [4] VYKOUKALOVÁ, T. *Korozivní poškození austenitických ocelí*. Brno: VUT. Fakulta strojního inženýrství. Ústav materiálových věd a inženýrství, 2010. 35 s. Bakalářská práce, vedoucí: Klakurková, L.
- [5] URL <<http://www.rivet.sk/spojovací-material/nerez-A2-A4/>> [cit. 2011-5-8]
- [6] *MM Průmyslové spektrum: Korozivzdorné oceli jako konstrukční materiál*. Praha: MM publishing, s. r. o., duben 2003 [cit. 2011-4-25]: dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/korozivzdorne-oceli-jako-konstrukcni-materialy>>
- [7] *MM Průmyslové spektrum: Efektivní frézování nerezových ocelí*. Praha: MM publishing, s. r. o., září 2010 [cit. 2011-4-25]: dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/efektivni-frezovani-nerezovych-oceli>>
- [8] PRAMET. *Frézování: katalog 2009*. PRAMET TOOLS, s. r. o., 2009., 296 s.
- [9] ČSN-ISO 513: *Klasifikace a použití tvrdých řezných materiálů k obrábění kovů určeným ostřím – Označování skupin a podskupin použití*. Praha: Federální úřad pro normalizaci a měření, 1995.
- [10] AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ s. r. o. *Příručka obrábění – Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. 1. Vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: *Modern Metal Cutting – A Practical Handbook*. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [11] SECO TOOLS AB. *Katalog a technický průvodce - Frézování: katalog 2009*. 572 s.
- [12] MITSUBISHI MATERIALS CORPORATION. *General catalog – Turning tools, Rotating tools, Tooling solution: katalog 2010-2011*. 1348 s.
- [13] AB SANDVIK COROMANT. *Hlavní katalog – Frézování: katalog 2011.*, 336 s.
- [14] PECHÁČEK, F., CHARBULOVÁ, M., CHARBULA, J. *Rezné nástroje - návody na cvičenia*. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislavě. Materiálovotechnologická fakulta, 2008. 176 s. ISBN 976-80-8096-048-3
- [15] KOVOSVIT MAS. *MCV 1270 Power*. [online]. [cit. 28. 4. 2008]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.kovosvit.cz/cz/mcv-1270/>>.

- [16] VALOŠEK, F., *Manuál ocelí*. Ostrava: Dům techniky Ostrava, spol. s r.o., 1993.
- [17] Návod k použití – měřící zařízení EQUOTIP
- [18] Interní materiál společnosti SECO Tools, A.B.
- [19] KOČMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270s. ISBN 80-214-1996-2.
- [20] ČSN-ISO 8688-1: *Rezné nástroje. Testovanie trvanlivosti pri frézování. Časť 1: Rovinné frézovanie*. Praha: Český normalizační institut, 1993.

8 Seznam obrázků

obr. 1.1	Materiál 1.4511 s feritickou strukturou	13
obr. 1.2	Výfukové zařízení (použití feritické korozivzdorné oceli ve výrobě).....	13
obr. 1.3	Mikrostruktura martenzitické oceli.....	14
obr. 1.4	Materiál 1.4313 s martenzitickou strukturou	14
obr. 1.5	Holící žiletky z martenzitické korozivzdorné oceli.....	14
obr. 1.6	Materiál 1.4301 s austenitickou strukturou.....	16
obr. 1.7	Mikrostruktura austenitické oceli	16
obr. 1.8	Spojovací materiál z austenitické oceli	16
obr. 1.9	Materiál 1.4462 s austeniticko-feritickou oceli.....	17
obr. 1.10	Trubky z austeniticko-feritické oceli.....	17
obr. 1.11	Příklady tvorby třísek při rozdílném obsahu síry.....	18
obr. 2.1	Poloha břitové destičky upnuté ve fréze.....	20
obr. 2.2	Úhel břitu nástroje κ_r	22
obr. 2.3	Axiální úhel čela γ_p	22
obr. 2.4	Radiální úhel čela γ_f	22
obr. 2.5	Systém značení VBD dle normy ISO 513	24
obr. 4.1	Fréza typu ASX445-063A05R - výrobce Mitsubishi Materials	27
obr. 4.2	Geometrie JL, JM a JH vyměnitelných břitových destiček Mitsubishi.....	28
obr. 4.3	Sortiment destiček MITSUBISHI pro frézování skupiny materiálů M.....	28
obr. 4.4	Fréza typu R220.53-0063-12-5A - výrobce Seco Tools.....	29
obr. 4.5	Sortiment destiček SECO pro frézování skupiny materiálů M	30
obr. 4.6	Fréza typu 345-063Q22-13M - výrobce Sandvik Coromant.....	31
obr. 4.7	Sortiment destiček SANDVIK 345R pro frézování skupiny materiálů M	32
obr. 4.8	Fréza typu 63A05R-S45SE12F-A - výrobce Pramet Tools.....	32
obr. 4.9	Sortiment destiček PRAMET pro frézování skupiny materiálů M	33
obr. 4.10	Frézovací centrum MCV 1270 Power	36
obr. 4.11	Měření tvrdosti obrobku tvrdoměrem.....	38
obr. 5.12	Trajektorie odchodu třísky – Mitsubishi – SEMT 13T3AGEN-JL; VP30RT.....	46
obr. 5.13	Trajektorie odchodu třísky – Seco – SEEX 1204AFTN-M14; F40M	47
obr. 5.14	Trajektorie odchodu třísky – Sandvik – 345R-1305E-PL; 2030.....	47
obr. 5.15	Trajektorie odchodu třísky – Pramet – SEET 1204AFSN; 8230	48
obr. 5.16	Konstrukční řešení zubů frézy s opěrnými podložkami pod VBD	64

9 Seznam tabulek

tab. 1.1	Skupina korozivzdorných ocelí	12
tab. 1.2	Význam materiálových čísel pro korozivzdorné oceli	12
tab. 1.3	Vliv obsahu uhlíku na tvrdost martenzitických ocelí.....	14
tab. 1.4	Rozdělení obráběných materiálů dle normy ISO 513	19
tab. 4.1	Základní technická data fréz.....	26
tab. 4.2	Porovnání doporučených řezných podmínek	34
tab. 4.3	Technické parametry frézovacího centra MCV 1270	36
tab. 4.4	Mechanické vlastnosti korozivzdorné oceli jakosti 17 349.....	37
tab. 4.5	Chemické složení korozivzdorné oceli jakosti 17 349	37
tab. 4.6	Technická data tvrdoměru EQUOTIP	37
tab. 4.7	Naměřené hodnoty tvrdosti obrobku z korozivzdorné oceli 17 349.4	38
tab. 4.8	Řezné podmínky funkčnosti zkoušek obrábění.....	39
tab. 4.9	Řezné podmínky pro skupinu A ($f_z = 0,15 \text{ mm} \cdot \text{zub}^{-1}$)	43
tab. 4.10	Řezné podmínky pro skupinu B ($f_z = 0,25 \text{ mm} \cdot \text{zub}^{-1}$).....	43
tab. 5.1	Dosažené hodnoty R_a při funkčních zkouškách obrábění při $a_p = 1\text{mm}$	50
tab. 5.2	Dosažené hodnoty R_a při funkčních zkouškách obrábění při $a_p = 3 \text{ mm}$	50
tab. 5.3	Výsledky trvanlivostní zkoušky pro destičky skupiny A.....	53
tab. 5.4	Výsledky zkoušky trvanlivosti pro destičky skupiny B	54
tab. 5.5	Průběh opotřebení na čele destiček - skupina A.....	55
tab. 5.6	Průběh opotřebení na hřbetě destiček - skupina A	56
tab. 5.7	Průběh opotřebení na čele destiček - skupina B.....	57
tab. 5.8	Průběh opotřebení na hřbetě destiček - skupina B	58
tab. 5.9	Naměřené hodnoty opotřebení u destiček skupiny A	59
tab. 5.10	Naměřené hodnoty opotřebení u destiček skupiny B.....	60
tab. 5.11	Návrh sortimentu fréz	64
tab. 5.12	Návrh sortimentu destiček	65

10 Seznam grafů

graf 5.1	Průběh opotřebení destiček skupiny A.....	61
graf 5.2	Průběh opotřebení destiček skupiny B.....	62

11 Seznam příloh

Příloha č. 1	Přehled konkurence
Příloha č. 2	Geometrie porovnávaných fréz
Příloha č. 3	Geometrie porovnávaných VBD
Příloha č. 4	Utvářecí diagram třísek Mitsubishi – SEET 13T3AGEN-JL; VP30RT
Příloha č. 5	Utvářecí diagram třísek Mitsubishi – SEMT 13T3AGSN-JM; VP30RT
Příloha č. 6	Utvářecí diagram třísek Mitsubishi – SEMT 13T3AGSN-JH; VP30RT
Příloha č. 7	Utvářecí diagram třísek Seco – SEEX 1204AFTN-M14; F40M
Příloha č. 8	Utvářecí diagram třísek Seco – SEEX 1204AFTN-M10; F40M
Příloha č. 9	Utvářecí diagram třísek Seco – SEMX 1204AFTN-ME12; F40M
Příloha č. 10	Utvářecí diagram třísek Seco – SEMX 1204AFTN-M15; F40M
Příloha č. 11	Utvářecí diagram třísek Sandvik – 345R-1305E-PL; 2030
Příloha č. 12	Utvářecí diagram třísek Sandvik – 345R-1305M-PL; 1030
Příloha č. 13	Utvářecí diagram třísek Pramet – SEET 1204AFSN; 8230
Příloha č. 14	Utvářecí diagram třísek Pramet – SEEW 1204AFSN; 8230